



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VYTÁPĚNÍ RODINNÝCH DOMŮ TUHÝMI PALIVY

HEATING OF HOUSES WITH SOLID FUELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mário Gerát

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Mário Gerát**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vytápění rodinných domů tuhými palivy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Domovní vytápění tuhými palivy zažívá díky nízkým cenám paliva svoji reinkarnaci a to i přes velkou snahu snižování negativních ekologických vlivů tohoto zdroje.

Hlavní náplní práce je porovnání různých kotlů na tuhá paliva vhodných pro vytápění rodinných domů.

Cíle bakalářské práce:

Přehled tuhých paliv vhodných pro aplikaci v rodinných domech.

Přehled technologií vytápění rodinných domů tuhými palivy.

Ekonomické posouzení vybraných variant.

Seznam doporučené literatury:

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.

JANDAČKA, Jozef. et al. Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. 1. Žilina, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.

NOSKIEVIČ, Pavel, Pavel KOLIČNÝ a Tadeáš OCHODEK. Malé zdroje znečišťování, VEC Ostrava 2004.

MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-2-7-3250-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá spôsobmi vykurovania rodinných domov tuhými palivami. V prvej kapitole je zobrazený prehľad tuhých palív vhodných pre aplikáciu v rodinných domoch, ich vlastnosti, zloženie a taktiež úpravy do podoby určenej pre spaľovanie. V druhej kapitole sa nachádza prehľad technológií vykurovania rodinných domov tuhými palivami, ich rozdelenia, princíp činnosti, výhody a nevýhody. V poslednej kapitole je ekonomické posúdenie a porovnanie vybraných typov spaľovacích zariadení aplikovaných na modelovom dome, ich zriaďovacie a prevádzkové náklady.

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the ways of heating houses with solid fuels. In the first chapter is visualized preview of solid fuels suitable for application in family houses, properties of solid fuels, their structure and modification to proper form for heating. In the second chapter is preview of solid fuel heating technologies for family houses, their division, principle of operation, advantages and disadvantages of each technology. In the last chapter is economical assessment and comparison of chosen types of combustion devices applied on standard house, integration of devices and their operation costs.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

tuhé palivá, pelety, spaľovanie, kotle na tuhé palivá, výhrevnosť, biomasa

KEYWORDS

solid fuels, pellet, combustion, solid fuels boilers, calorific value, biomass

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

GERÁT, M. *Vytápění rodinných domů tuhými palivy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D..

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za cenné rady pri vypracovaní bakalárskej práce.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Marka Baláše, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 25.5..2017

.....

Mário Gerát

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| 1. ÚVOD | 15 |
| 2. TUHÉ PALIVÁ | 17 |
| 2.1 Hrubý rozbor | 17 |
| 2.1.1 Voda v palive | 18 |
| 2.1.2 Popolovina v palive | 18 |
| 2.1.3 Horľavina paliva | 18 |
| 2.2 Vlastnosti tuhých palív | 18 |
| 2.2.1 Spalné teplo Q_s | 19 |
| 2.2.2 Výhrevnosť paliva Q_{ir} | 19 |
| 2.3 Druhy tuhých palív | 20 |
| 2.3.1 Drevo ako palivo | 20 |
| 2.3.2 Uhlie ako palivo | 22 |
| 2.3.3 Nedrevná biomasa | 23 |
| 2.3.4 Odpadové palivá | 24 |
| 2.4 Porovnanie druhov palív a náklady na rodinný dom | 25 |
| 3. TECHNOLÓGIE VYKUROVANIA RODINNÝCH DOMOV | 27 |
| 3.1 Kachle | 27 |
| 3.1.1 Keramické kachle | 28 |
| 3.2 Krby | 29 |
| 3.2.1 Teplovodná krbová vložka | 30 |
| 3.2.2 Teplovzdušná krbová vložka | 31 |
| 3.3 Kotle na tuhé palivá | 32 |
| 3.3.1 Splyňovací kotol na drevo | 33 |
| 3.3.2 Kotol na pelety | 34 |
| 3.3.3 Kotol na uhlie | 36 |
| 4. EKONOMICKÉ POSÚDENIE VYBRANÝCH VARIANT | 39 |
| 4.1 Porovnanie nákladov na vykurovanie pri vybraných spaľovacích zariadeniach | 40 |
| 4.1.1 Edilkamin IDRO 100 | 40 |
| 4.1.2 ATTACK DP 25 | 41 |
| 4.1.3 EKO-KWPns 25 | 42 |
| 4.1.4 ATMOS D25P | 43 |
| 4.2 Grafické znázornenie výsledkov | 45 |
| 5. ZÁVER | 47 |
| 6. ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV | 49 |
| 7. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, OBRÁZKOV A TABULIEK | 51 |
| 7.1 Zoznam použitých skratiek a symbolov | 51 |
| 7.2 Zoznam tabuliek | 51 |
| 7.3 Zoznam obrázkov | 52 |

1. ÚVOD

V dnešnej dobe je spotreba, či už tepelnej, alebo elektrickej energie veľmi vysoká a každým rokom neprestajne rastie. Prevažná časť tejto energie sa spotrebuje pri vykurovaní rodinných domov alebo pri príprave teplej úžitkovej vody. Túto energiu je potrebné získať a na to slúžia tepelné spaľovacie zariadenia, ktoré spaľujú rôzne druhy palív. Pre čo najvyššiu ekonomickú ale aj ekologickú úsporu sa tieto zariadenia vyrábajú s čo najvyššou účinnosťou. Tepelný komfort je hlavným dôvodom prečo sa ľudstvo snaží zdokonaľovať v tejto oblasti a naplno využívať energiu získanú z jednotlivých druhov palív. Jedným z najviac používaných palív je zemný plyn. Poskytuje užívateľovi vysoký komfort pri prevádzke kotla, nespôsobuje problémy so skladovaním paliva a jeho účinnosť je veľmi vysoká. Ľudia však kvôli zvyšujúcej sa cene zemného plynu a klesajúcim zásobám fosílnych palív, čoraz viac využívajú obnoviteľné zdroje energie. Z nich najviac používaným palivom je práve biomasa, ktorá sa vhodne upravuje pre vybrané spaľovacie zariadenie.

Táto práca sa zaoberá jednotlivými druhmi tuhých palív ako: uhlie, drevo, biomasa a odpadové palivá. Popisujú sa ich vlastnosti, zloženie, vhodné úpravy pre spaľovanie a samotné možnosti spaľovania. Sú navrhnuté konkrétne typy spaľovacích zariadení tak, aby sa užívateľ mohol rozhodnúť, pre čo najvýhodnejšie ekologické, ale aj ekonomické riešenie pri vykurovaní rodinných domov tuhými palivami.

2. TUHÉ PALIVÁ

Medzi tuhé palivá patrí biomasa, uhlie, drevo a rôzne druhy odpadových palív. Tuhé palivá obsahujú horľavinu, popolovinu a vodu. Obsah týchto zložiek v palive je dôležitý z energetického hľadiska tuhých palív. [1]

Tuhé palivá je možné deliť na:

- Fosílné (uhlie)
- Obnoviteľné (biomasa)
- Odpadové (komunálne a priemyslové odpady)

Zloženie tuhých palív sa určuje:

- Hrubým rozborom – stanovuje sa pomer vody a popoloviny, určí sa výhrevnosť paliva a taktiež prchavá a neprchavá horľavina.
- Elementárnym obsahom horľaviny – určuje sa pomerný obsah horľaviny. [2]

Pre získanie čo najlepších vlastností a manipuláciu s palivom je potrebné vysušenie paliva. So znižujúcim sa obsahom vody a popoloviny sa zvyšuje jeho kvalita. Zloženie tuhých palív pred a po vysušení je uvedené v Tab. 2-1

| Původní palivo | Po vysušení |
|--------------------|--------------------|
| 0,3 kg vody | 0,1 kg vody |
| 0,2 kg popoloviny | 0,27 kg popoloviny |
| 0,5 kg horľaviny | 0,63 kg horľaviny |
| Celkem 1 kg | Celkem 1 kg |

Tab. 2-1 Zloženie tuhých palív pred a po vysušení. [1]

2.1 Hrubý rozbor

Pomer medzi horľavinou (h), popolovinou (A^r) a vodou (W^r) určuje hrubý rozbor. [2]

$$h + A^r + W^r = 100 \% \quad (2.1)$$

| | | | |
|-------------------|-----------------|---|---------------|
| přimísená voda | ← Surové uhlí → | | |
| | | | |
| | voda W^r | popeloviny A^r | hořlavina h |
| přítěž (balast) | | prchavý podíl | tuhý podíl |
| | | bezvodé uhlí (sušina) | |
| spálením vznikne: | | | |
| vodní pára | | tuhé zbytky – škvára (struska), popílek | spaliny |

Obr. 2-1 Hrubý rozbor tuhých palív. [2]

2.1.1 Voda v palive

Takmer každé tuhé palivo obsahuje vodu. Z hľadiska výhrevnosti paliva, spaľovania či samotnej prepravy je voda nežiadúcou zložkou. Voda sa z paliva stráti vo forme vodnej pary spolu so spalínami. Jej obsah sa môže jednoducho znížiť sušením, čo má za následok zvýšenie výhrevnosti paliva. Voda v palive tvorí pasívnu zložku, nie je nositeľkou energie, práve naopak znižuje energetickú hodnotu paliva. Znižuje spaľovaciu teplotu a pri spaľovaní pohlcuje časť uvoľneného tepla. Spolu s popolovinou tvoria v palive oblasť, ktorú nazývame balast, neprináša žiadny energetický zisk. [2] [1]

Relatívna vlhkosť určuje obsah vody v drevnej hmote. Je daná vzťahom:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \% \quad (2.2)$$

m_1 [kg] – hmotnosť vzorku pred vysušením,

m_2 [kg] – hmotnosť vzorku po vysušení.

2.1.2 Popolovina v palive

Takisto ako voda je popolovina nežiadúcou, pasívnou zložkou v palive. Nie je nositeľkou energie a znižuje energetickú hodnotu paliva. Popolovinu tvoria nespáliteľné minerálne látky ktoré sa nachádzajú v palive pred spálením. Sú to hlavne kremičitany, sírany, uhličitaný ale aj rôzne nečistoty ako hlina, kamene a piesok, ktoré sa primiešali počas manipulácie s palivom. Tuhý zvyšok ktorý ostane z popoloviny po spálení sa nazýva popol. Popol je považovaný za látku škodiacu životnému prostrediu, pretože pri spaľovaní sa uvoľňuje do ovzdušia. [1]

Obsah popola v palive:

$$A = \frac{m_p}{m_d} [-] \quad (2.3)$$

m_p [g] – hmotnosť popolu,

m_d [g] – hmotnosť suchého vzorku.

2.1.3 Horľavina paliva

Horľavina je aktívnou zložkou, je nositeľkou chemicky viazanej energie v palive. Základnými prvkami tejto zložky sú uhlík, vodík a siera. Oxidáciou týchto prvkov sa uvoľňuje teplo. Ak sa zvýši obsah horľaviny vysušením paliva, tak v rovnakom pomere sa zvýši aj jeho výhrevnosť. Siera je nežiadúcim prvkom pretože zvyšuje obsah SO_2 v spalínach a taktiež zvyšuje rosný bod spalín.

Ďalšou významnou zložkou v tuhom palive je obsah prchavej horľaviny. Jedná sa hlavne o horľavé plyny, ktoré sa uvoľnia z paliva pri jeho zahriatí na cca 850 °C. Čím je obsah prchavej horľaviny v palive väčší, tým ľahšie sa palivo zapáli. Čím staršie je palivo z geologického hľadiska, tým je obsah prchavej horľaviny v palive nižší. [1]

2.2 Vlastnosti tuhých palív

Palivá majú rôzne zloženie, čo ovplyvňuje ich, niekedy veľmi rozdielne vlastnosti. Určité vlastnosti sa považujú za základné a tieto vlastnosti sú pre všetky druhy palív spoločné.

Patria sem spalné teplo a výhrevnosť paliva.

2.2.1 Spalné teplo Q_s

Teplo uvoľnené dokonalým spálením 1 kg paliva na oxid uhličitý, oxid siričitý a kvapalnú vodu sa nazýva spalné teplo Q_s ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). [3]

Spalné teplo sa určuje v kalorimetroch spálením 1 kg paliva v kyslíkovej atmosfére s tlakom 2,5 MPa v kalorimetrickej bombe, ktorá je ponorená vo vodnej kúpeli. Z tepla ktoré sa uvoľnilo pri spálení vzorku a oteplilo vodnú kúpeľ sa vypočíta spalné teplo. [2]

Výpočet spálneho tepla:

$$Q_s = \frac{V * \Delta T}{G} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2.4)$$

V ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) – vodná hodnota kalorimetra,

G (kg) – hmotnosť paliva.

2.2.2 Výhrevnosť paliva Q_i^r

Teplo uvoľnené dokonalým spálením 1 kg paliva pri ochladení spalín na 20 °C sa nazýva výhrevnosť Q_i^r ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). Na rozdiel od spálneho tepla voda v spalínach zostane v plynnej fáze. Výhrevnosť závisí hlavne na obsahu vody v palive. [2]

Zo zmeraného spálneho tepla sa vypočíta výhrevnosť:

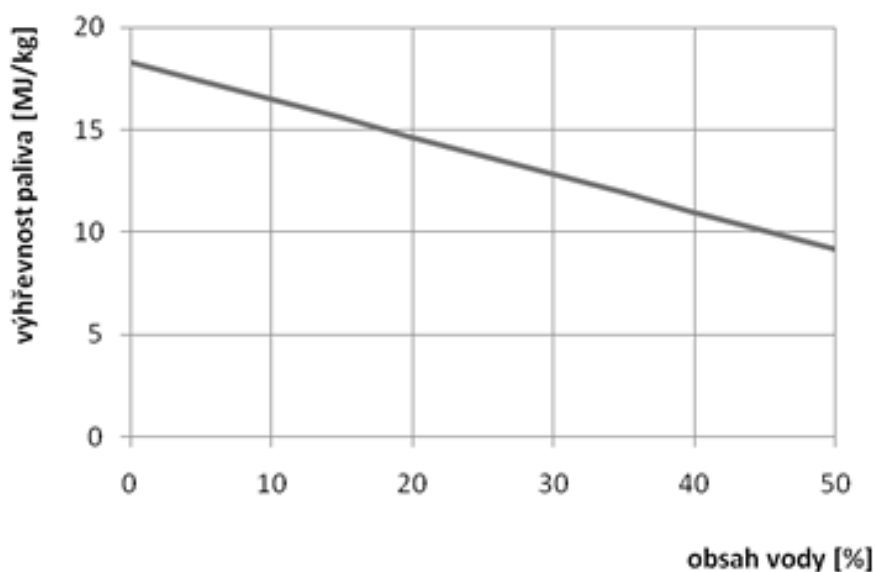
$$Q_i^r = Q_s - r * (W^r + 8,94 * H_2) \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2.5)$$

W^r (-) – obsah vody v palive,

r ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) – kondenzačné teplo vody, $r = 2454 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,

H_2 (-) – obsah vodíka v surovom palive (z 1 kg vodíka • 8,94 kg vody),

Q_s ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) – spalné teplo paliva.



Obr. 2-2 Závislosť výhrevnosti paliva na vlhkosti. [4]

2.3 Druhy tuhých palív

2.3.1 Drevo ako palivo

V našich oblastiach je drevo jednou z najviac používaných surovín pre vykurovanie rodinného domu. Drevo sa dodáva v rôznych podobách. Stromy a väčšie vetvy sa narežú na rovnaké dĺžky. Tento materiál sa nazýva guľatina. Drevo ktoré je hodnotnejšie sa nepoužíva ako palivo, ale spracováva sa pre drevopriemysel. Rozštípením guľatiny, či už manuálne alebo strojom, vznikne štiepka. Pri spracovávaní dreva vzniká odpad vo forme pilín a hoblín, ktorý sa tiež spracováva na drevené brikety alebo drevené pelety. V špeciálnych lisoch sa za vysokých tlakov zlisujú do foriem bez pridania spojiva. Umožňuje to lignit, ktorý je v dreve obsiahnutý a po zlisovaní ostane tvar stabilný. [5]



Obr. 2-3. Zľava: guľatina, drevené pelety, drevené brikety, štiepka. [6] [7] [8] [9]

Veľmi výhodným palivom sú drevené pelety a to vďaka svojmu normovanému tvaru, manipulácii pri preprave či komfortu pri vykurovaní. V minulosti boli s týmto palivom problémy hlavne pre nedostatočné zlisovanie či požadované rozmery. Zasekávali sa v dopravnom zariadení, alebo sa predčasne rozpadli a dopravné zariadenie upchali. Z tohto dôvodu sa dnes musia pelety vyrábať podľa Rakúskej normy Ö-Norm M 7135, alebo certifikácie DIN plus. [5]

Podmienky platné pre pelety [5]:

- Priemer 5 – 6 mm, dĺžka 8 – 30 mm
- Obsah vody nižší ako 10 %
- Hustota viac ako 1,12 kg/l
- Minimálna výhrevnosť $Q_i^r = 18 \text{ MJ/kg}$

Lisovaním drevných odpadov (piliny, hobliny) s vhodnou vlhkosťou sa v briketovacích lisoch za vysokého tlaku (31,5 MPa) a teploty vyrábajú brikety. Je dosiahnutá vysoká hustota (1200 kg.m^{-3}) čo zapríčini že objem paliva sa výrazne zníži ale vzrastie jeho výhrevnosť (19 MJ.kg^{-1}). Výhodou brikiet je že majú malé množstvo popola, cca 0,5 %, a nízky obsah síry, cca 0,07 %. Pri lisovaní dochádza vplyvom lisovacej teploty k zataveniu povrchu brikiet a stáva

sa odolná voči vlhkosti obsiahnutej vo vzduchu. Vďaka tomu s brikety pri manipulácii nelámu a nerozpadávajú sa pri spaľovaní. Ich popol je možné použiť ako prírodné hnojivo. [3]

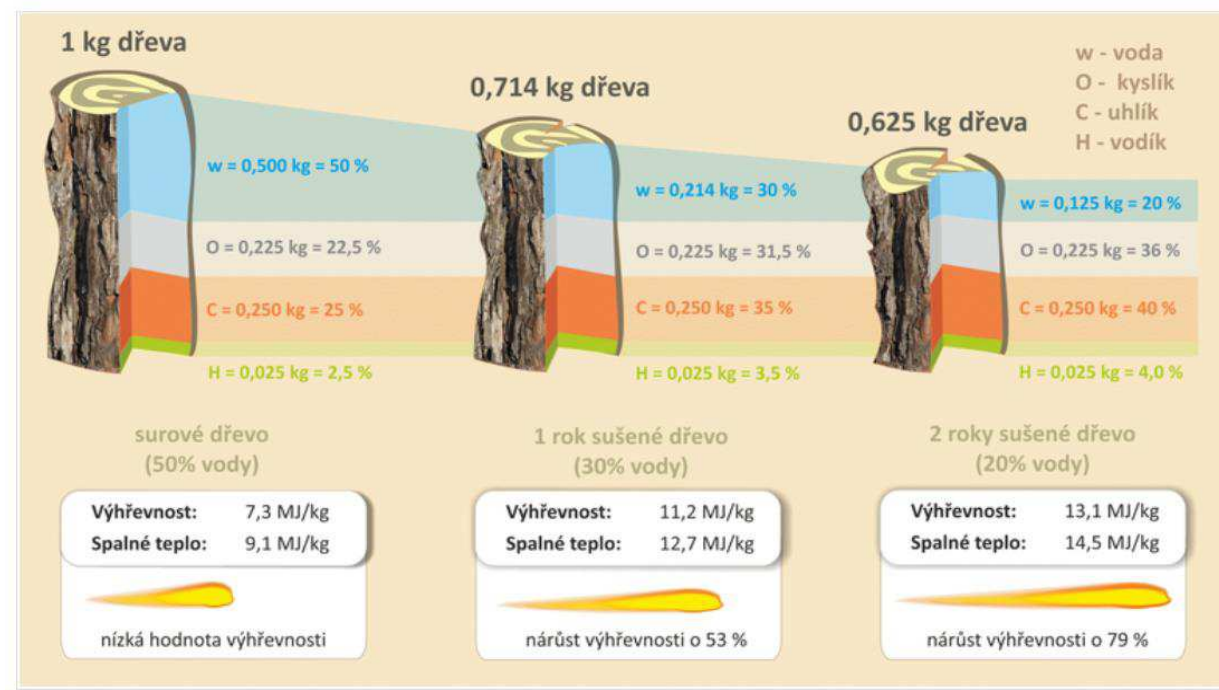
Súčasťou drevných palív je aj kôra ihličnatých stromov, alebo sa samostatne spracováva do formy brikiet. Vzhľadom na obsah živice obsiahnutej v kôre, je jej výhrevnosť až 20 MJ/kg. Ak je kôra znečistená zeminou, má vyšší obsah popola cca 6 %. [10]

Pri kúpe palivového dreva je potrebné poznať priestorové miery. Pri zlisovaní hoblíny do tvaru kocky s objemom 1 m^3 , je hmotnosť aj výhrevnosť kocky väčšia ako 1 m^3 peliet. Spôsobuje to vzduch medzi sypanými peletami. Pevný meter (pm) je priestorová miera štvorcového metra pevnej drevenej hmoty bez medzier. Pri naštiepaní guľatiny vzniknú opäť medzery. Priestorový meter (rm) je miera uloženého naštiepaného dreva. Ak sa poľená alebo štiepky zložia voľne na kopu, vzniknú ďalšie medzery. Sypaný meter (prms) je teda priestorová miera voľne zloženého dreva. [5]

Tieto miery sa dajú medzi sebou prepočítať:

$$1 \text{ pm} = 1,4 \text{ rm} = 2,5 \text{ prms} \quad (2.6)$$

Výhrevnosť dreva závisí na obsahu vody. Vlhké drevo horí zle, je ťažšie a vyžaduje väčšiu fyzickú námahu. K odparovaniu vody dochádza pri spaľovaní, ale nato je potrebná energia, ktorá taktiež pochádza z dreva. Toto vedie k poklesu výhrevnosti. Suché drevo má výhrevnosť približne 18 MJ.kg^{-1} . Ak sa zvýši obsah vody v dreve z 20 % na 40 %, tak spotreba paliva bude vyššia cca o polovicu. [3] Takže palivové drevo sa musí pred spálením dobre vysušiť aby sa mohol naplno využiť jeho energetický obsah. Výhodou dreva je že obsah popoloviny je menší ako 1 %. Čo sa deje s kusom dreva v priebehu prirodzeného sušenia je zobrazené na Obr. 2-4 .



Obr. 2-4 Znižovanie vlhkosti v priebehu vysušovania dreva. [4]

Drevo je obnoviteľný zdroj energie takže s nákupom nie je problém. Najvhodnejšie drevo pre vykurovanie rodinného domu je suché drevo z listnatých stromov ako dub, buk ale samozrejme patrí medzi najdrahšie varianty. Výhrevnosti rôznych druhov dreva sú porovnané v Tab. 2-2 .

| Druh paliva | Objemová hmotnosť sušiny | Objemová hmotnosť při vlhkosti 25 % | | Výhrevnost při vlhkosti 25 % | | |
|-------------|--------------------------|-------------------------------------|---------|------------------------------|---------|---------|
| | [kg/m ³] | [kg/pm] | [kg/rm] | [MJ/kg] | [MJ/pm] | [MJ/rm] |
| Smrk | 430 | 575 | 415 | 13,1 | 7350 | 5440 |
| Jedle | 430 | 575 | 415 | 14,0 | 8040 | 5800 |
| Borovice | 510 | 680 | 495 | 13,6 | 9250 | 6730 |
| Modřín | 545 | 725 | 525 | 13,4 | 9720 | 7040 |
| Topol | 400 | 530 | 360 | 12,3 | 6540 | 4440 |
| Olše | 480 | 640 | 430 | 12,9 | 8260 | 5550 |
| Vrba | 500 | 665 | 450 | 12,8 | 8490 | 5740 |
| Bříza | 585 | 780 | 525 | 13,5 | 10550 | 7100 |
| Jasan | 650 | 865 | 585 | 12,7 | 11010 | 7450 |
| Buk | 650 | 865 | 585 | 12,5 | 10830 | 7320 |
| Dub | 630 | 840 | 565 | 13,2 | 11050 | 7430 |
| Habr | 680 | 905 | 610 | 12,1 | 10970 | 7400 |
| Akát | 700 | 930 | 630 | 12,7 | 11850 | 8030 |

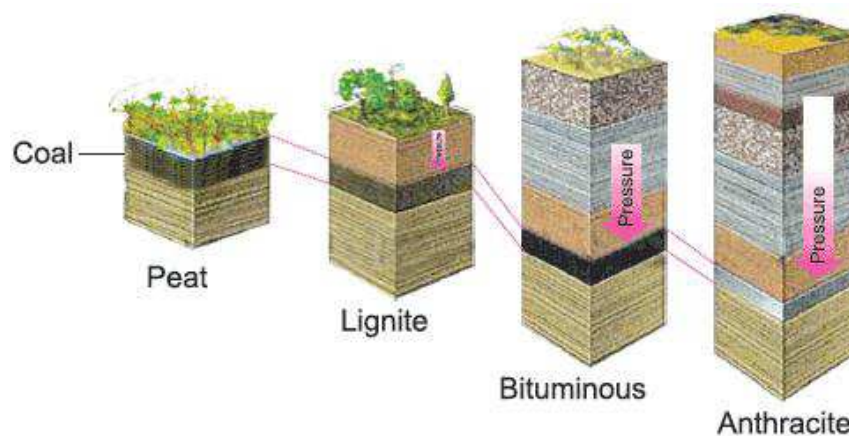
[plm], [pm] = 1 m³ plné dřevní hmoty (plnometr, pevný metr)
[prm], [rm] = 1 m³ rovnaných polen, obsahuje 60–75 % dřeva (prostorový metr)
[prms] = 1 m³ volně ložené nezhutněné štěpky (prostorový metr)

Tab. 2-2 Výhrevnost' a objemová hmotnost' dreva pri vlhkosti 25%. [4]

2.3.2 Uhlie ako palivo

Uhlie patrí medzi fosílné palivá, ktoré sú tvorené predovšetkým z pravekých usadenín a odumretých organizmov. Z geologického hľadiska delíme uhlie podľa veku a vzniku od najstaršieho po najmladšie na:

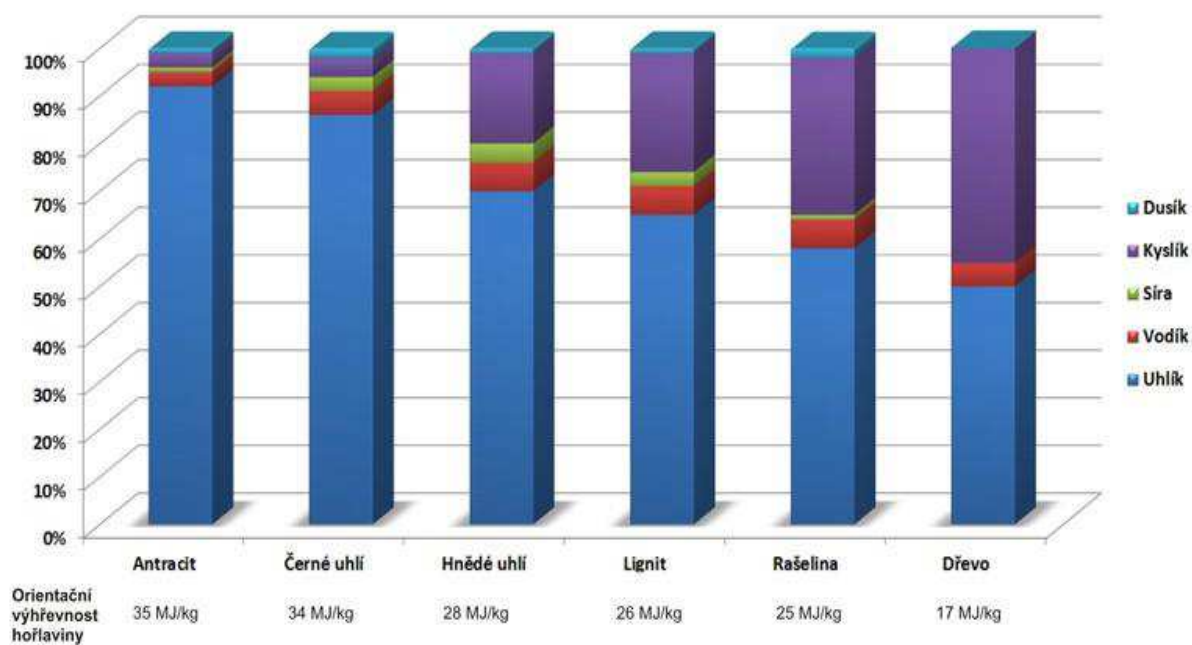
- Antracit
- Čierne uhlie
- Hnedé uhlie
- Lignit
- Rašelinu.



Obr. 2-5 Tvorba uhlia v rôznych fázach s nárastom tlaku. [10]

Pre vykurovanie rodinných domov sa najčastejšie používa čierne a hnedé uhlie a ich upravená forma koks. Energetická účinnosť uhlia je tým vyššia, čím je uhlie geologicky staršie. Geologicky mladšie palivá ako napr. hnedé uhlie sa ľahšie zapália a horia pri nižších spaľovacích teplotách. [2] Dôležitú rolu pri spaľovaní uhlia v malých ohniskách má obsah prchavej horľaviny. Ak sa do kotla priloží veľké množstvo paliva, v dôsledku jeho zahriatia sa začnú uvoľňovať horúce horľavé plyny. Tieto plyny potrebujú k úplnému vyhoreniu dostatočné množstvo spaľovacieho vzduchu, čas a správnu teplotu. Ak tieto plyny nestihnú vyhorieť, vzniká tmavý, hustý, aromatický dym. Dochádza pri tom k znečisťovaniu ovzdušia a životného prostredia. [1] Čierne uhlie má väčšiu výhrevnosť, menšiu vlhkosť, menší obsah prchavých látok a tvorí menej popola pri spaľovaní ako hnedé uhlie. Počas vykurovacieho obdobia sa spotrebuje približne 10 ton hnedého uhlia a čierneho cca 8 ton. Z ekonomického hľadiska sa nedá hovoriť o úspore pretože ceny čierneho uhlia sú vyššie. [10]

Odstránením prchavej zložky z čierneho uhlia v peci za neprítomnosti kyslíka pri vysokých teplotách sa získa koks. Tento typ tuhého paliva má vyššiu výhrevnosť ako uhlie. Na vykurovaciu sezónu sa spotrebuje cca 6 ton koksu. Tak, ako pri uhlí aj koks treba skladovať vo vetranej a suchej miestnosti.



Obr. 2-6 Porovnanie výhrevností a prvkového zloženia horľaviny palív. [4]

2.3.3 Nedrevná biomasa

Z dôvodu znižovania zásob fosílnych palív vo svete sa čoraz viac využívajú obnoviteľné zdroje energie. Jedným z nich je aj biomasa. Pod pojmom biomasa sa označuje hmota z organického materiálu. V našich klimatických podmienkach sú hlavným zdrojom biomasy hlavne lesné hospodárstvo a poľnohospodárstvo. Odpady z drevospracujúceho priemyslu (piliny, kôra, konáre), poľnohospodárstva (exkrementy zvierat, slama), čistiarní odpadových vôd a zámerne pestované rastliny a dreviny (trávy, obilniny, olejniny) tvoria prevažnú časť biomasy. Pre energetické využitie treba tieto odpady spracovávať. Získanie energie z biomasy závisí od jej fyzikálnych a chemických vlastností. Najväčší vplyv má množstvo vody a sušiny v biomase. [3]

Delenie biomasy podľa pôvodu:

- Rastlinná (fytomasa),
- Živočíšna,
- Odpadová.

Možnosti premien biomasy na energetické využitie:

- Termochemické premeny (splynovanie, spaľovanie, pyrolýza) – rastlinnú a drevnú biomasu treba pripraviť (drvenie, lisovanie, rezanie),
- Biochemické premeny (metánové a alkoholové kvasenie, kompostovanie),
- Chemické premeny (esterifikácia rastlinných olejov).

Najbežnejšou surovinou pre výrobu pevných palív je drevo a drevné odpady a z nich vyrobené pelety alebo brikety. Dnes sa však na trhu stretávame s biopalivami vyrobenými zo slamy a prídavných látok ako škrob a melasa. Pred výrobou peliet alebo briekiet z fytomasy, sa musia olejiny, obilniny a iné stebloviny najprv pozbierať. Slúžia na to poľnohospodárske stroje ako rezačky, mlátičky a žacie stroje. Následne sú zlisované do balíkov rôznych veľkostí a tvorov a uskladnené na roštoch pod strechou kde je zabezpečené ich prevetrávanie. [3]

Hlavnými zložkami biomasy sú uhlík, vodík a kyslík. Biomasa obsahuje aj nežiadúce prvky ako chlór, síra a dusík, ktoré majú veľký vplyv na produkciu škodlivých látok pri jej spaľovaní. Aj napriek prítomnosti nežiadúcich prvkov, pri správnom spaľovaní biopaliva, predstavujú spaliny menšiu záťaž pre životné prostredie ako spaľovanie napr. uhlia. V Tab. 2-3 sa uvádza výhrevnosť pri 0 % vlhkosti a chemické zloženie niektorých druhov biomasy. [10]

| <i>Palivo</i> | <i>Výhrevnosť Zložky paliva v suchej hmote [%]</i> | | | | | | |
|------------------------|---|------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|
| | [MJ·kg ⁻¹] | C | H ₂ | O ₂ | N ₂ | S | Cl |
| <i>Smrekové drevo</i> | 18,8 | 49,8 | 6,3 | 43,2 | 0,13 | 0,015 | 0,005 |
| <i>Bukové drevo</i> | 18,4 | 47,9 | 6,2 | 45,2 | 0,22 | 0,015 | 0,006 |
| <i>Topolové drevo</i> | 18,5 | 47,5 | 6,2 | 44,1 | 0,42 | 0,031 | 0,004 |
| <i>Vrbové drevo</i> | 18,4 | 47,1 | 6,1 | 44,3 | 0,54 | 0,045 | 0,004 |
| <i>Pšeničná slama</i> | 17,2 | 45,6 | 5,8 | 42,4 | 0,48 | 0,082 | 0,190 |
| <i>Tritikale slama</i> | 17,1 | 43,9 | 5,9 | 43,8 | 0,42 | 0,056 | 0,270 |
| <i>Repková slama</i> | 17,1 | 47,1 | 5,9 | 40,0 | 0,84 | 0,270 | 0,470 |
| <i>Seno</i> | 17,4 | 45,5 | 6,1 | 41,5 | 1,14 | 0,160 | 0,220 |

Tab. 2-3 Výhrevnosť a chemické zloženie biomasy. [3]

2.3.4 Odpadové palivá

Zásoby fosílnych energetických zdrojov vo svete klesajú a tak sa zvyšuje tlak na upravovanie odpadového materiálu a jeho následné využitie ako zdroj energie. Tento odpad sa energeticky zhodnocuje a upravuje, aby bolo možné ho použiť ako palivo. Sú to palivá, ktoré sa aj po vyrobení klasifikujú stále ako odpady a ich použitie sa riadi predpismi ochrany ovzdušia o spaľovaní odpadu. Patria sem odpady z priemyselnej oblasti (odpad z textilného či spracovateľského priemyslu), komunálnej oblasti (odpady z domácností) ale aj úprava

organických odpadov. Tieto palivá sa spaľujú buď samostatne alebo sa pridávajú k základným palivám. Pri porovnávaní druhov odpadových palív je dôležitá ich energetická účinnosť. Hodnoty výhrevností a energetický obsah sú porovnané v Tab. 2-4

| Druh odpadu | Výhrevnosť [MJ.kg ⁻¹] | Energetický obsah [kWh] |
|------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Drevené piliny | 16 - 17 | 4,5 - 4,8 |
| Kôra | 16 - 17 | 4,5 - 4,8 |
| Papierový odpad | 14 - 15 | 4 - 4,2 |
| PVC odpad | 18 - 20 | 5 - 5,6 |
| Kožiaarsky odpad | 18,5 - 21,5 | 5 - 6 |
| Polyetylén | 41 - 43 | 11,6 - 12,1 |
| Slama | 15 - 16 | 3,9 |
| Konopný odpad | 17 - 20 | 4,8 - 5,6 |
| Trstina | 14 - 18 | 4 - 5 |
| Rašelina | 18 - 20,5 | 5 - 5,7 |
| Bavlna | 21 - 25 | 5,9 - 7 |
| Guma | 32 - 36 | 9 - 10 |

Tab. 2-4 Výhrevnosť a energetický obsah odpadových palív. [13]

V tabuľke 2-4 vidíme že niektoré odpadové palivá majú vyššiu výhrevnosť ako hnedé uhlie. Obsahujú ale škodliviny ako fluór a chlór a z nich pri nesprávnom spaľovaní vznikajú toxické látky. [2] Hlavne kvôli týmto toxickým látkam, niektoré z odpadových palív (PVC, Guma atd.) nie sú vhodné pre vykurovanie rodinných domov, pretože unikajú aj pri správnom spaľovaní. Nie sú vhodné do malých kotlov.

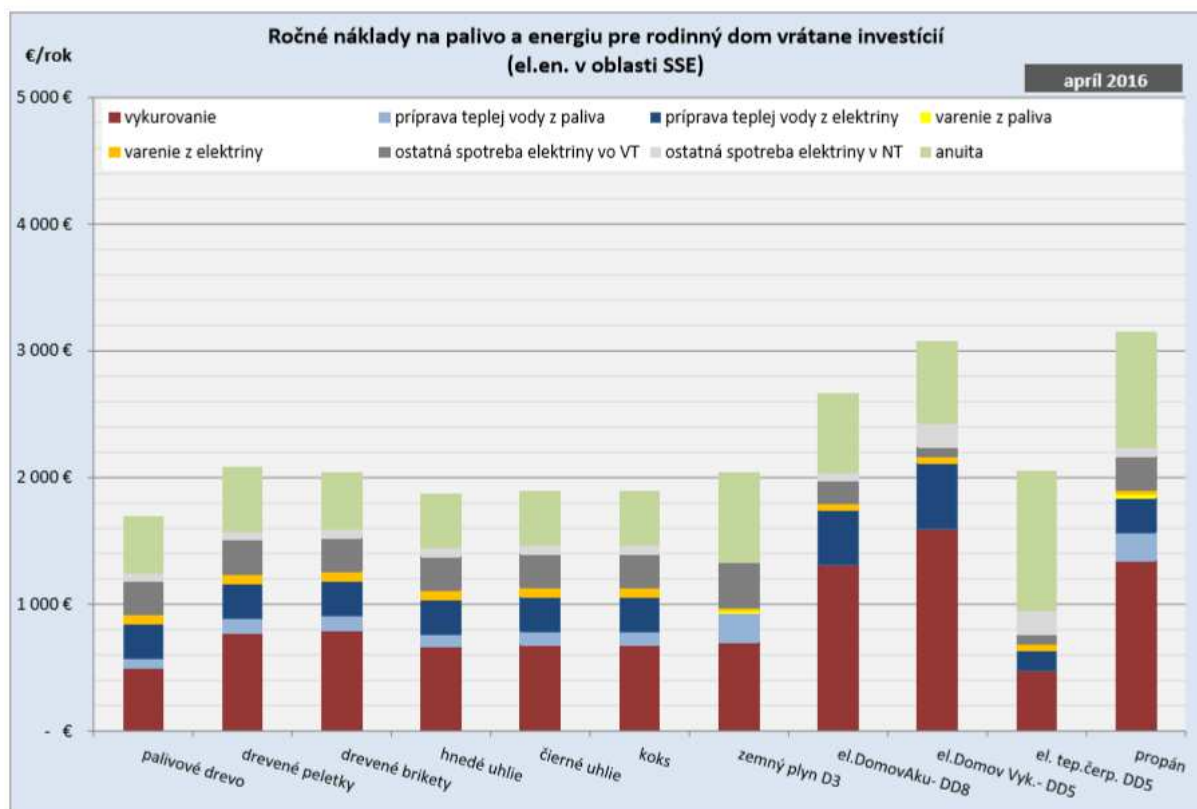
2.4 Porovnanie druhov palív a náklady na rodinný dom

Tab.2-4 uvádza výhody a nevýhody spracovaných druhov palív a elektrickej energie, využívaných pre vykurovanie rodinných domov.

| <u>DRUH PALIVA</u> | <u>VÝHODY</u> | <u>NEVÝHODY</u> |
|---------------------------|---|---|
| UHLIE | Nízka cena | Vysoké emisie Dovoz a skladovanie paliva Vynášanie popola |
| DREVO | Nízka cena Obnoviteľný zdroj energie | Dovoz a skladovanie paliva Možné problémy s reguláciou Časté prikladanie paliva pri neautomatických kotloch |
| BIOMASA | Nízka cena Obnoviteľný zdroj energie | Dovoz a skladovanie paliva |
| ELEKTRINA | Jednoduchá regulácia Vysoká účinnosť | Vysoká cena Nutná prípojka s dostatočnou kapacitou |

Tab. 2-5 Porovnanie výhod a nevýhod jednotlivých druhov palív. [1]

Nasledujúci graf zobrazuje náklady na vykurovanie a energiu rodinného domu spolu s investíciami pre oblasť stredného Slovenska.



Obr. 2-7 Náklady na palivo a energiu. [13]

Tab. 2-6 zobrazuje výhrevnosti jednotlivých druhov palív a jednotkovú cenu paliva. Použité ceny palív sú priemerné a nemusia odpovedať cenám v daných lokalitách.

| Druh paliv | Výhrevnosť [MJ/kg] [4] | Výhrevnosť [15] [kWh/kg] | Cena za 1kg [€] |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Drevo (kusové) | 14,62 | 3,89 | 0,11 [15] |
| Rastlinné pelety | 16 - 18,5 | 4,44 | 0,15 [15] |
| Drevné pelety | 18,1 | 5 | 0,24 [15] |
| Drevné brikety | 16,21 | 4,44 | 0,21 [15] |
| Čierne uhlie | 15,5-29,21 | 5,38 | 0,20 [16] |
| Hnedé uhlie | 10,5-17,18 | 4,17 | 0,13 [16] |
| Koks | 27,5 | 6,94 | 0,32 [15] |
| Zemný plyn | 33,48 [MJ/m3] | 9,6 [kWh/m3] | 0,53 [15] |
| Elektrina | 1 | 1 | 0,12 [15] |

Tab. 2-6 Charakteristika jednotlivých druhov palív.

3. TECHNOLÓGIE VYKUROVANIA RODINNÝCH DOMOV

Na vykurovanie rodinných domov a ohrev vody slúžia malé kotle. Táto práca sa zaoberá len kotlami na tuhé palivá ako kusové drevo, biomasa, hnedé a čierne uhlie.

Malé kotle sú zložené zo:

- Spaľovacia komora,
- Výmenník (výhrevný systém),
- Odvod spalín,
- Systém regulácie a automatizácie,
- Bezpečnostné zariadenie.

Kotle sa rozlišujú podľa spôsobu horenia [2]:

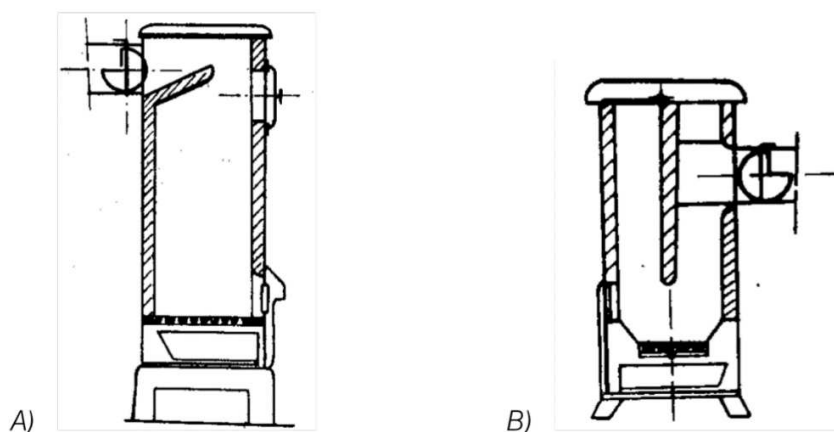
- Prehorievacie,
- Odhorievacie,
- Splyňovacie

Podľa spôsobu vykurovania sa delia spaľovacie zariadenia na [1]:

- Lokálne – teplo uvoľnené pri spálení odovzdávajú do miestnosti formou sálania (krby, kachle, krbové kachle, sporáky). Sú určené na spaľovanie tuhých palív ako uhlie či kusové drevo. Výhodou je veľmi účinné a efektívne vykurovanie jednotlivých miestností. Nevýhodou je manipulácia s palivom a popolom a časté prikladanie s čím súvisí aj znečisťovanie. Tento typ spaľovacieho zariadenia sa väčšinou využíva ako doplnkové vykurovanie, alebo sa používa v prechodovom období.
- Centrálné – jedná sa o kotle v ktorých sa teplo uvoľnené pri spálení paliva odovzdá teplonosnému médiu (voda), za pomoci ktorého je rozvádzané do jednotlivých miestností. Poskytuje vyšší komfort a ponúka množstvo technických riešení. Centrálné kotle môžu byť automatické alebo s ručnou obsluhou.

3.1 Kachle

Kachle spolu so sporákmi predstavujú jednu z najjednoduchších technológií pre vykurovanie. Patria medzi lokálne vykurovacie zariadenia s ohniskom pre tuhé palivá. Na dne ohniska je umiestnený rošt pomocou ktorého je privedený spaľovací vzduch. Množstvo privedeného vzduchu sa môže regulovať pomocou popolníka, ktorý sa nachádza pod roštom. Toto ohnisko má minimálne nároky na kvalitu paliva, je možné v ňom spáliť skoro všetko. Pri nedokonalom spaľovaní paliva vzniká tmavý aromatický dym. Tomuto problému sa dá vyhnúť častejším prikladaním a po menších dávkach paliva. Každý užívateľ sa snaží počet prikladaní minimalizovať, takže je potrebné pridať väčšie množstvo paliva naraz. Je potrebný väčší objem ohniska. Kachle sa preto rozdeľujú na kachle s prehorievaním a odhorievaním paliva. Schémy sú znázornené na Obr. 3-1 [1]



Obr. 3-1 Ohnisko s prehorievaním paliva (A) a odhorievaním paliva (B) [1]

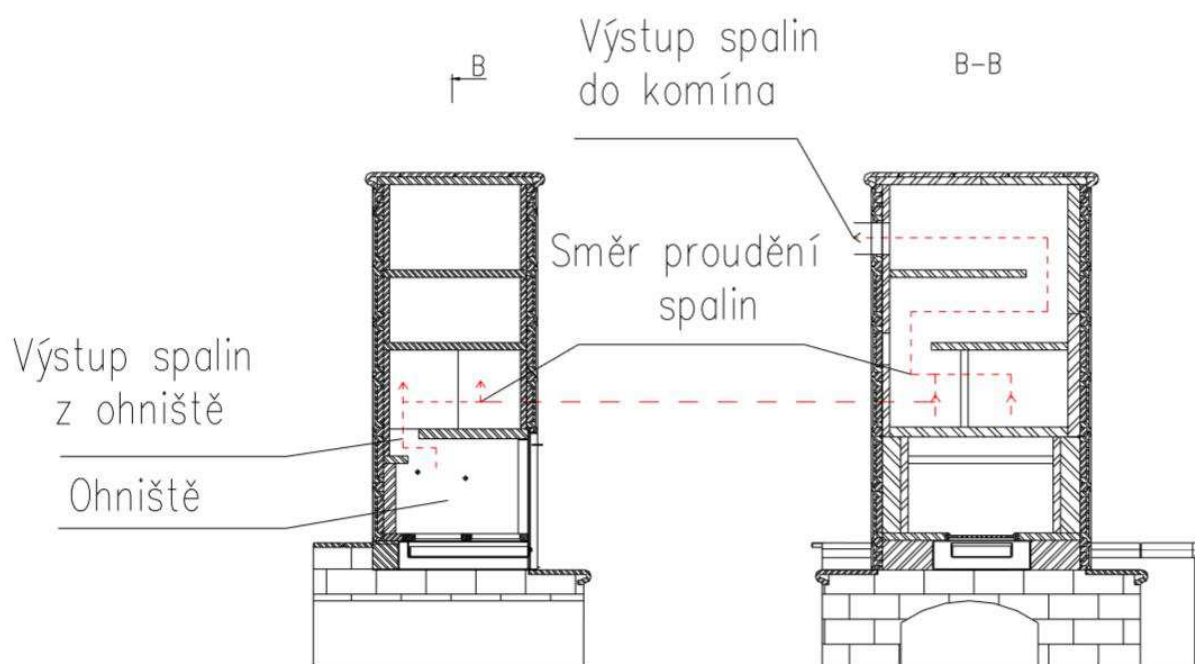
Pri **prehorievaní** paliva je šachta naplnená a spaľovací vzduch prúdi cez celú vrstvu paliva. Palivo sa zapáli zospodu od rozpáleného roštu a postupne prehorieva. Vyparovanie vody, termochemické reakcie a uvoľňovanie prchavej horľaviny prebieha v celom objeme. Reguláciou prívodu spaľovacieho vzduchu pod rošt sa zaisťuje aby nedošlo k zapáleniu celého objemu paliva. Ak sa dvierka popolníka úplne otvorí dôjde k zapáleniu celého objemu paliva a zvýšenie výkonu kachiel. Toto má za následok nedokonalé spaľovanie a zníženie životnosti zariadenia. [2]

Ohnisko so spodným **odhorievaním** paliva je rozdelené na dve časti. Vľavo je násypná šachta a vpravo vlastné ohnisko. Na dne je umiestnený pevný rošt. Palivo z násypnej šachty sa odsýpa a horí. Vždy horí len spodná vrstva paliva. Spaliny prechádzajú nahor ohniskom a dohorievajú horľavé zložky. Tento typ kachiel sa nedá preťažiť a vďaka dohorievaniu spalín produkuje menej škodlivín. Musí byť zaistený dobrý ťah komína a tesnosť násypného otvoru pretože pri prípadných stratách ťahu môže dôjsť k zapáleniu paliva v násypnej šachte. [1]

Výhody oboch typov kachiel sú jednoduchá konštrukcia, obsluha a prijateľná cena. Z praxe pri nedokonalom spaľovaní vzniká vysoká koncentrácia oxidu uhoľnatého, polyaromatických uhlíkovodíkov a ďalších škodlivín. Z tohto dôvodu sa odporúča z hľadiska kvality spaľovania kvalitnejšie palivo vhodné pre kachle ako koks, triedené čierne uhlie a drevo. Na obrázku 3-3 je zobrazený výkon a bližšie špecifikácie klasických kachiel. [1]

3.1.1 Keramické kachle

Keramické kachle predstavujú jeden z najstarších spôsobov vykurovania. Sú veľmi efektívne hlavne kvôli ich schopnosti využívať akumuláciu tepla a vďaka dokonalému spaľovaniu neprodukujú škodlivé látky. Keramické kachle sú objemovo väčšie a ťažšie oveľa viac ako klasické kachle (niekoľko 100 kg). Konštrukcia pozostáva z keramickej hmoty, ktorá sa akumuluje počas spaľovania paliva. Spaliny z ohniska putujú do hornej časti kachiel s priehradkami. Tým sa predlžuje trasa horúcich spalín a zabezpečí sa prenos tepla do keramiky. Smerom nahor teplota spalín klesá a nakoniec spaliny vstupujú do komína. Po nahriatí predávajú teplo do okolia. Výhodou je že teplo je predávané aj po tom, ako palivo vyhasne. Je však dôležité zvoliť konštrukciu s dostatočne kapacitnými stenami a utesnením ohniska po poslednom priložení paliva. Obr.3-2 Zobrazuje konštrukciu keramických kachiel. [1]



Obr. 3-2 Konštrukcia keramických kachiel. [1]



Špecifikácia :

Regulačný rozsah tepelného výkonu: 2,5-7,5 kW

Výhrevnosť: 48-124 m³

Palivo: drevo, hnedouhoľné brikety, uhlie

Rozmery (v, š, h): 885x285x320 mm

Priemer dymového hrdla: 120 mm

Celková hmotnosť: 70 kg

Hmotnostný tok spalín (drevo): 5,6 g/s

Hmotnostný tok spalín (hnedouhoľné brikety): 6,6 g/s

Ťah komína: 12 Pa

Obr. 3-3 Thorma Kerpen II -klasické kachle. [15]

3.2 Krby

Pri vykurovaní biomasou je krb používaný už stovky rokov. Je typickým spaľovacím zariadením pre vykurovanie jednotlivých miestností. Pri jeho použití v rodinných domoch je skôr ako doplnkový, estetický zdroj energie. Naopak ako hlavný zdroj energie slúži pri vykurovaní chát a chalúp. V dnešnej dobe sa pri výstavbe krbov veľmi často používajú krbové vložky, vďaka ktorým sa výrazne zvyšuje účinnosť premeny energie nachádzajúcej sa v palive. Najviac používané palivo pri vykurovaní krbom je biomasa. Používa sa v rôznych formách ako sú suché kusové drevo, štiepka, drevné brikety, pelety. V minulosti boli používané hlavne otvorené krby, ktorých účinnosť sa pohybuje približne 10-20 %. Z toho vyplýva že zvyšných

80 % energie z paliva unikne bez účinku priamo do komína. Výrazne vyššiu účinnosť majú krby s krbovou vložkou, teda krby s uzavretým ohniskom. Pohybuje sa v rozmedzí 50-80 %. Problémom krbov je veľmi vysoká spotreba vzduchu. Cez komín uniká okrem spalín aj väčšie množstvo nevyužitého vzduchu. Ak je dom vzduchotesný je nutné zabezpečiť prísun vzduchu pre spaľovanie zvonku. [3]



Obr. 3-4 Krby: vľavo uzavretý a vpravo otvorený krb.

3.2.1 Teplovodná krbová vložka

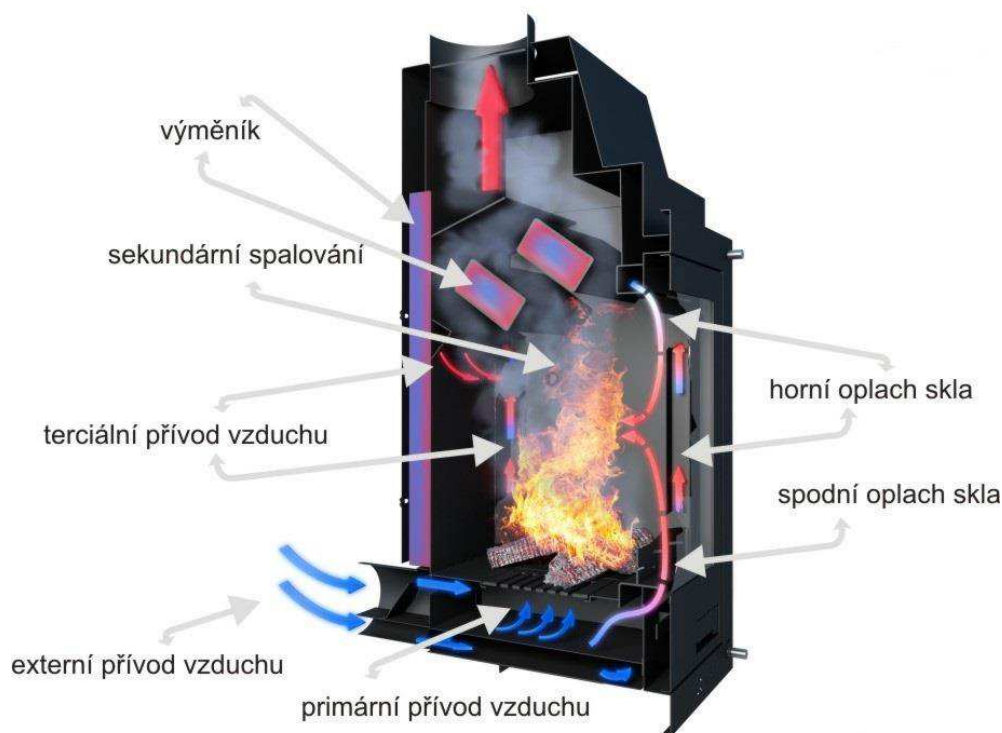
Princíp teplovodnej krbovej vložky spočíva v ohreve vody v zabudovanom alebo externom výmenníku, ktorý je súčasťou krbovej vložky. Obeh vody, ktorá je z bočnej strany a zo zadnej strany vháňaná do kúrenárskeho systému zabezpečuje čerpadlo. Aby sa zamedzilo korózii krbovej vložky nesmie sa do vložky dostať voda o teplote nižšej ako 60 °C. Toto zabezpečuje trojcestný ventil. Krbové vložky sú založené na princípe riadeného spaľovania. Zdola je privádzaný primárny vzduch potrebný pre spaľovanie. Nad palivo, priamo do plameňov je privádzaný sekundárny vzduch, ktorý sa rozvíri a zhoria uvoľnené uhl'ovodíky. Vďaka sekundárnemu spaľovaniu sú minimálne energetické straty. S výrazným nárastom teploty prudko rastie aj tlak vo výmenníku. Aby sa nezničil výmenník je nutné zabezpečiť krbovú vložku proti prehriatiu. Z tohto dôvodu sa inštaluje ochladzovacia slučka. Väčšina krbových vložiek má aj technológiu oplachu skla. Keďže krb sa v dnešnej dobe používa aj kvôli estetickej funkcii, táto vymoženosť je veľmi žiadaná. Udržiava zanesenie skla na minimálnej úrovni. [16]

Výkon krbovej vložky s výmenníkom sa delí na dve skupiny [16] :

- Výkon do vzduchu – výkon krbovej vložky predávaný do vzduchu,
- Výkon do vody – výkon krbovej vložky predávaný do vody, ktorá koluje v kúrenárskom systéme. Ak je tento výkon vyšší ako sa požaduje, je možné zapojiť akumuláciu nádrž. Nádrž zabezpečuje zásobu teplej vody aj po vyhasnutí paliva vo vložke.

Pri kúpe krbovej vložky je dôležité vybrať materiál:

- Liatinové vložky majú veľmi dobrú akumuláciu schopnosť, takže po vyhasnutí ešte dlho vydáva teplo, je odolná proti prehoreniu a má dlhú životnosť. Jej nevýhodou je krehkosť.
- Oceľová vložka je pružná a znesie vysoké teplotné rozdiely.



Obr. 3-5 Teplovodná krbová vložka. [16]

3.2.2 Teplovzdušná krbová vložka

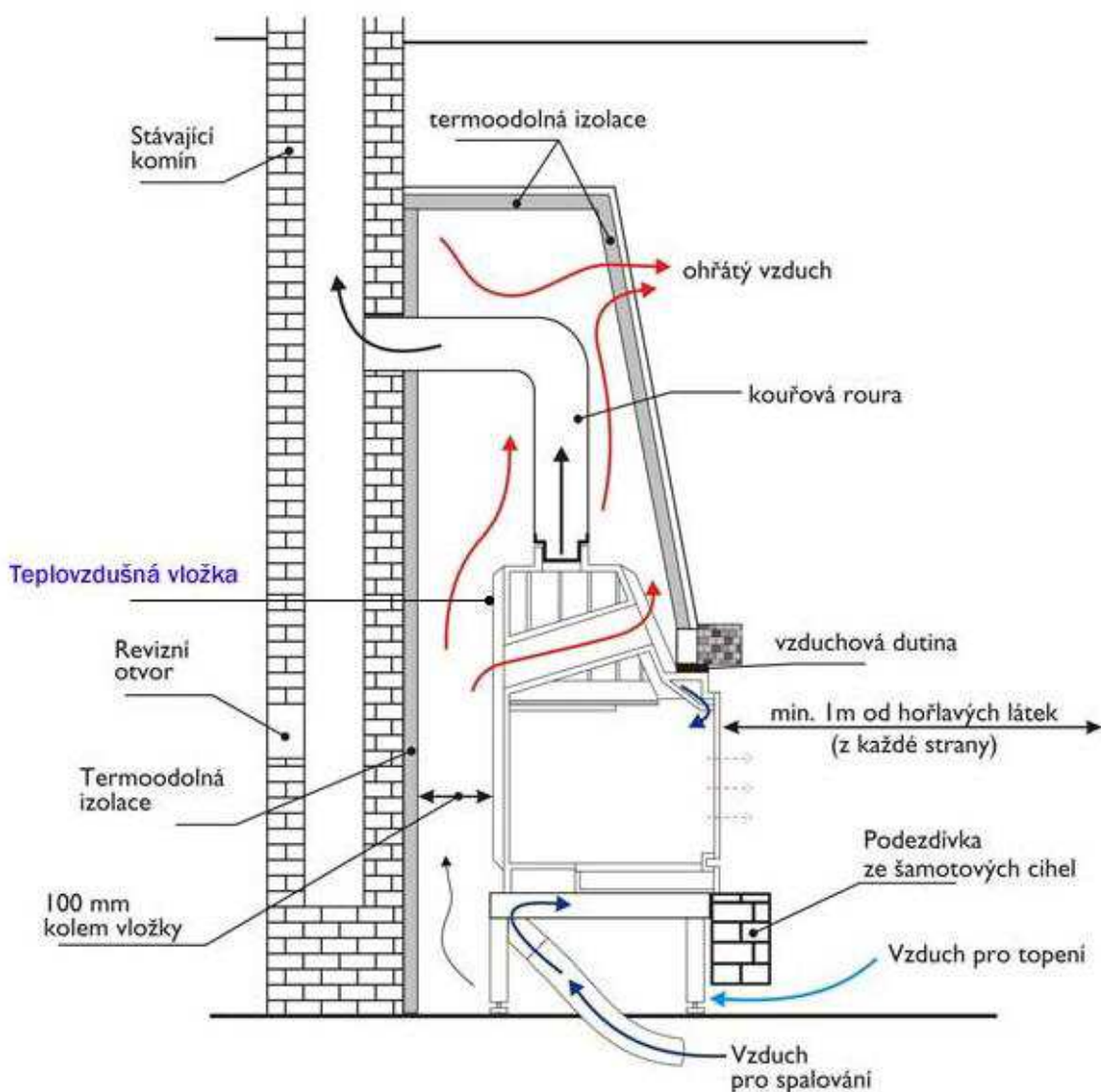
Teplovzdušné krbové vložky sú používané pri teplovzdušnom vykurovaní domu. Pri tomto type vykurovania domu je nutné brať do úvahy že teplo získané z krbu sa využíva okamžite a nie je možné ho regulovať, ako pri teplovodnom vykurovaní. Záleží hlavne na samotnej konštrukcii krbu a teplovzdušných rozvodoch. [16]

Systémy zapojenia teplovzdušných rozvodov [16]:

- Nútený systém – využíva ventilačnú jednotku a je vhodný pre vykurovanie vzdialenejších miestností.
- Samotiažny systém – teplý vzduch stúpa nahor a nie je potrebný ventilátor. Používa sa, ak je vložka umiestnená centrálna a vykuruje priľahlé miestnosti. Najčastejšie v dvojpodlažných domoch.

Teplovzdušné vložky [16]:

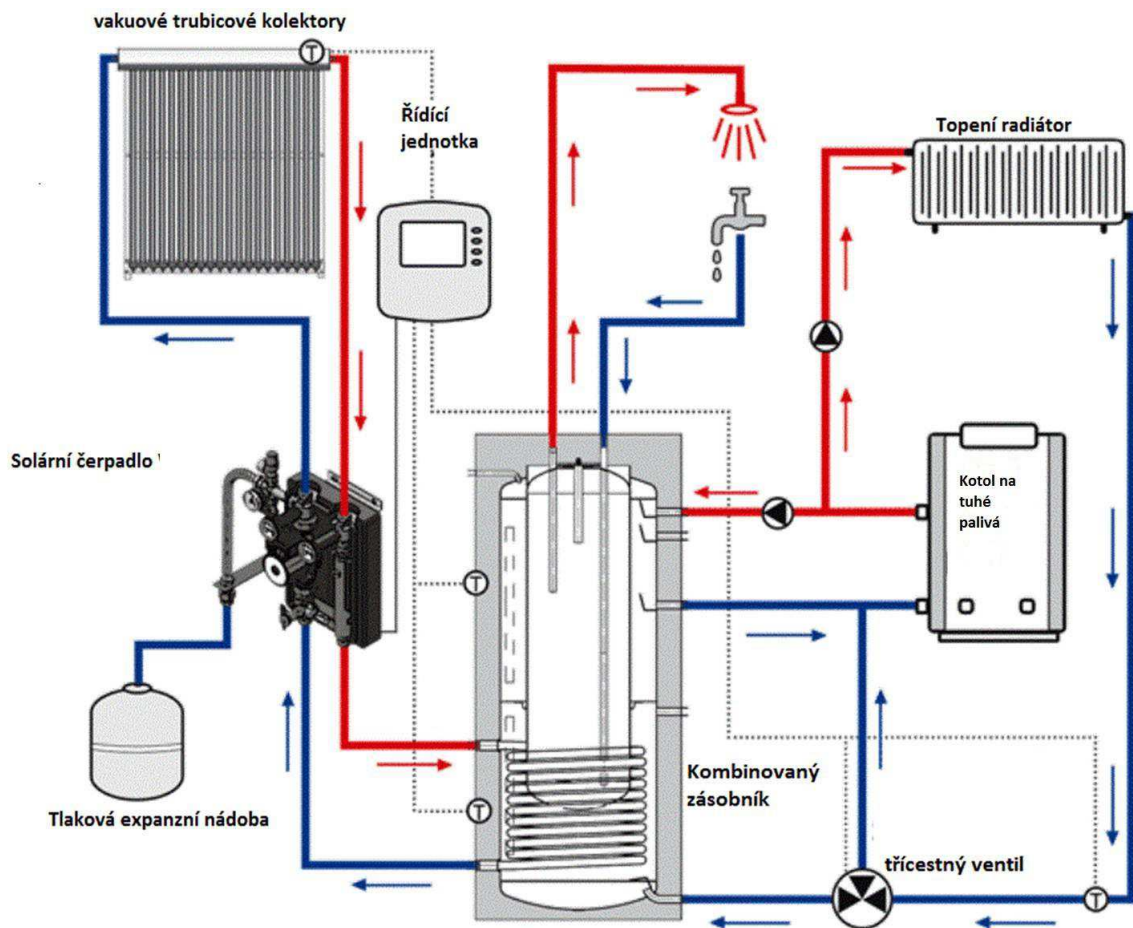
- Jednoplášťové – druhý plášť tvorí murivo okolo krbu. Vzniká veľký priestor na ohrev vzduchu a teplota tohto vzduchu je nižšia.
- Dvojplášťové – medzi plášťami sa ohrieva vzduch, ktorý dosahuje vysokých teplôt (cca 100 °C). Vzduch s takouto teplotou nie je možné púšťať do miestnosti preto sa mieša s prisávaným vzduchom. Jeho výsledná teplota, ktorá prúdi do miestnosti sa reguluje termostatom.



Obr. 3-6 Krb s teplovzdušnou krbovou vložkou. [17]

3.3 Kotle na tuhé palivá

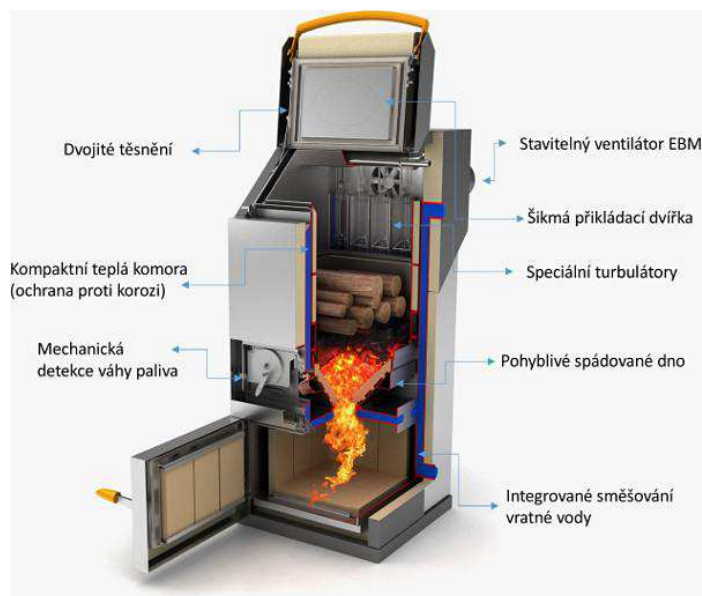
Kotle patria medzi centrálné spaľovacie zariadenia. Dochádza v nich k spaľovaniu paliva. Vyprodukovaná tepelná energia z tohto procesu je za pomoci teplonosného média (voda) rozvedená do celého domu. Pre každý druh paliva je určený kotol, ktorý je konštrukčne upravený. Niektoré kotle ponúkajú možnosť kombinácie paliva. Obr. 3-7 zobrazuje schému zapojenia teplovodného kotla do vykurovacieho systému a ohrevu vody s pomocným solárnym kolektorom.



Obr. 3-7 Schéma zapojenia kotla. [18]

3.3.1 Splyňovací kotel na drevo

Splyňovací kotel na drevo je ekologickou a úspornou voľbou na vykurovanie a prípravu teplej vody v rodinných domoch. Ako palivo sa používa kusové drevo, drevné brikety, niekedy aj štiepka. Splyňovací kotel využíva dvojstupňové spaľovanie. Prchavé zložky paliva sa uvoľnia v oblasti primárneho prívodu vzduchu, vytvoria horľavý plyn a ten sa vháňa do spaľovacej komory za pomoci ventilátora. V spaľovacej komore je zavedený sekundárny spaľovací vzduch. Teplovodným výmenníkom odchádzajú spaliny do komína. Podľa spôsobu práce ventilátora sa splyňovacie kotle rozdeľujú na dve varianty. Ventilátor spaľovací vzduch buď vháňa do kotla a vytvára v ňom pretlak, alebo sa ventilátor umiestni na výstupné hrdlo dymovodu a odsáva spaliny z kotla von. V kotli vzniká podtlak, ktorý zabráni možnému úniku spalín z kotla cez netesnosti. Zlepšuje kvalitu spaľovania, umožňuje bezprašnosť pri vyberaní popoľa a zvyšuje účinnosť. Splyňovacie kotle na drevo sú obecné lacnejšie ako kotle na pelety, je však nutná pravidelná obsluha. Výkony týchto kotlov sa pohybujú v rozmedzí 15-50 kW, ktoré sa dajú regulovať a ich účinnosť je 88-92 %. Je možné približne stanoviť vykurovaciu plochu pri tepelných stratách 50 W/m^2 a výkone 15 kW na 300 m^2 . Nevýhodou je že sú potrebné skladovacie priestory na palivo.[1] [2] [4]



Obr. 3-8 Rez splyňovacím kotlom. [20]

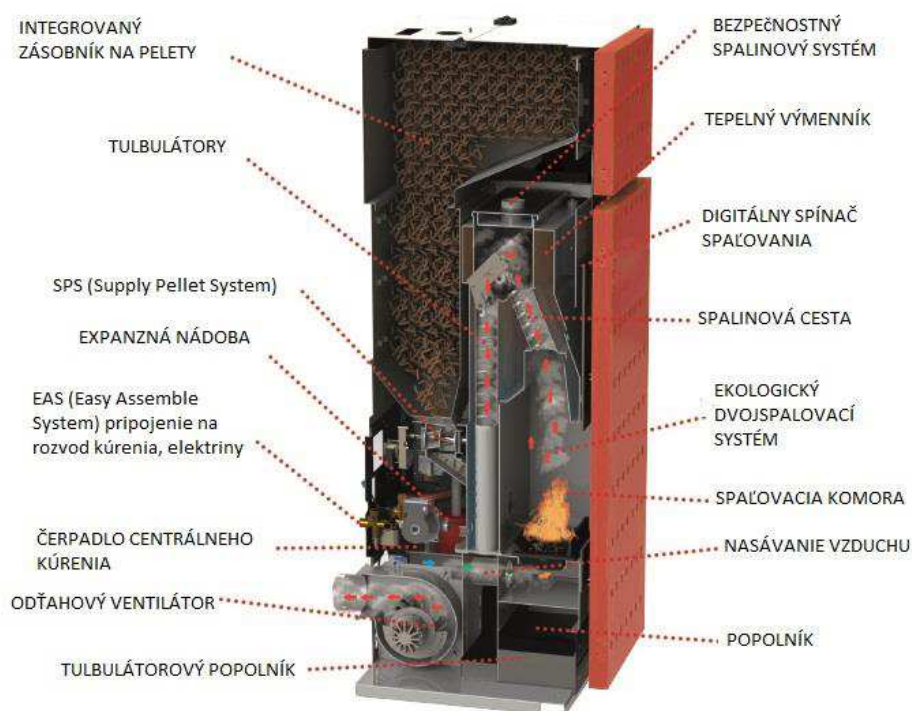
3.3.2 Kotel na pelety

Dnešné peletové kotle sú úplne automatizované, čo dáva vysoký komfort pri ich obsluhu. Výhodou sú dobré spaľovacie vlastnosti a nízke emisie. Rovnako ako pri splyňovacích kotloch, teplo vzniknuté pri spaľovaní peliet je predávané teplonosnému médiu, ktorým je najčastejšie voda. Účinnosť peletových kotlov pre rodinné domy je až 94 %. Ich výkon sa pohybuje v rozmedzí 10-30 kW a je možné ho regulovať na potrebnú teplotu. Je možné približne stanoviť vykurovaciu plochu pri tepelných stratách 50 W/m^2 a výkone 10 kW na 200 m^2 . Rez peletovým kotlom je zobrazený na Obr. 3-9 [4]

Vykurovanie domu drevenými peletami prináša najväčší komfort z hľadiska obsluhy. Pelety sú uskladnené v sklade peliet z ktorého sú automatickým dopravníkom prepravené do kotla. Môže to byť mechanický šnekový dopravník, alebo sacie vedenie. Oba dopravníky prepravujú pelety zo spodnej časti skladu. Kotle majú v sebe malý zásobovací kontajner, z ktorého sa pelety dostávajú do horáku buď malým šnekovým dopravníkom, alebo za pomoci gravitácie. Časovací spínač dá impulz na základe ktorého sa dopĺňa zásobovací kontajner zo skladovacieho priestoru. Automatické zapálenie peliet sa realizuje elektricky poháňaným dúchadlom horúceho vzduchu. Z popolového kontajnera je popol odoberaný za pomoci dopravného šneku. Ak sa kotol doplní akumulárnym zásobníkom, spotreba paliva bude menšia. Popolový kontajner je potrebné raz až dva krát ročne vyprázdniť. Vykurovanie rodinných domov peletami nevyžaduje pri každodennom používaní takmer žiadny zásah a majiteľom zaberá minimum času. To je však na úkor ceny, ktorá je v porovnaní s klasickými kotlami na ručné prikladanie oveľa vyššia. [5]

| Typ domu | Rozloha | Potrebný výkon |
|--------------------------|----------------------|----------------|
| klasický neizolovaný dom | do 150 m^3 | 15 kW |
| klasický neizolovaný dom | do 200 m^3 | 25 kW |
| klasický izolovaný dom | do 200 m^3 | 15 kW |
| klasický izolovaný dom | do 280 m^3 | 25 kW |
| nízkoenergetický dom | do 300 m^3 | 12 kW |
| bytový dom | 8 bytových jednotiek | 60 kW |

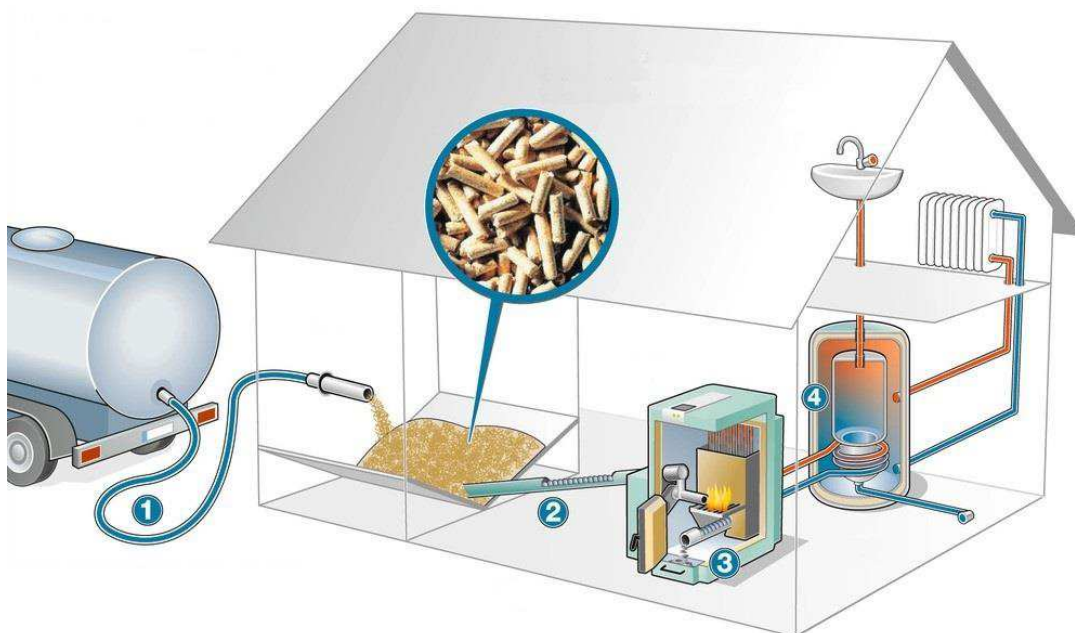
Tab. 3-1 Hodnoty výkonov kotlov na pelety pre rozlohy domov. [20]



Obr. 3-9 Rez kotlom na pelety. [20]

Systém komfortného vykurovania peletami (Obr. 3-10):

- 1 – doprava peliet hadicou z cisterny priamo do skladovacieho priestoru peliet
- 2 – dávkovanie peliet do kotla šnekovým dopravníkom
- 3 – automatický kotol na pelety
- 4 – akumulčná nádoba pre prípravu vykurovacej a úžitkovej vody.



Obr. 3-10 Systém vykurovania peletami. [4]

3.3.3 Kotel na uhlie

Donedávna bolo uhlie najpoužívanejším palivom pre centrálnu vykurovanie rodinných domov. S automatizáciou kotlov na uhlie vzrástli aj náklady na vykurovanie. Veľmi rozšírené konštrukčné prevedenie je s veľkoobjemovým ohniskom. Je to ohnisko so spodným odhorievaním alebo prehoriavacie ohnisko, do ktorého je možné za čo najkratší čas priložiť čo najväčšie množstvo paliva. Priložené palivo sa zahrieva a vylučuje sa z neho prchavá horľavina ktorej zapálenie značí začiatok horenia. Rýchlosť tohto procesu závisí na konštrukčnom prevedení kotla. Pri zapalovaní je ale v ohnisku vždy nedostatok spaľovacieho vzduchu. V dôsledku nedokonalého spaľovania sa tvoria škodlivé látky. Jednoduchou reguláciou nie je možné zaistiť potrebné množstvo spaľovacieho vzduchu. Aj napriek tomu sú tieto kotle jednou z najpoužívanějších variant. Dôvodom je cena, ktorá je prijateľná. [1]

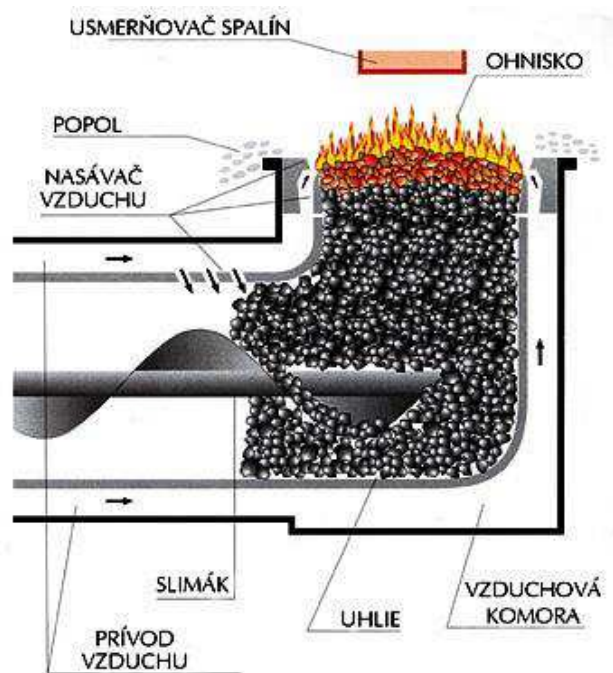
Dnes sú dostupné modernejšie kotle na spaľovanie uhlia ktoré produkujú minimálne množstvo škodlivín. Ich cena je však vyššia. Jedná sa o kotle ktoré využívajú systém kontinuálneho prívodu paliva do ohniska. Do ohniska sa nepretržite pridáva malé množstvo uhlia. Spaľovací proces a spotreba spaľovacieho vzduchu je vyrovnaná. [1]

Podľa konštrukcie sa kotle na uhlie delia na:

- Kotle s retortovým horákom
- Kotle s bubnovým horákom

Kotel s retortovým horákom.

Problémom je nepretržite dopraviť do ohniska veľmi malé množstvo uhlia, preto sa uhlie dopravuje periodicky. Proces je automatizovaný a impulz k spusteniu dopravníku udáva teplota spalín alebo vody. Uhlie je do retorty dopravované pomocou šnekového dopravníka a horná vrstva paliva trvale horí. Nad vrstvou je keramická odrazová vrstva ktorá pomáha udržať dostatočne vysokú teplotu. Uhlie v hornej vrstve vyhorí a vďaka nepretržitému prísunu paliva popol vypadáva cez okraj do popolníka. Samozrejme je nutné občas vyprázdniť popolník a doplniť zásobník ale inak toto prevedenie zaberá používateľovi minimum času. [1]



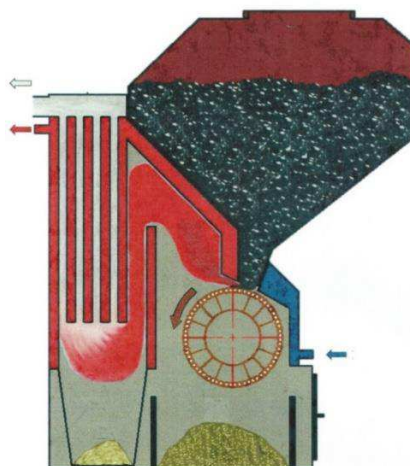
Obr. 3-11 Retortový horák. [21]



Obr. 3-12 Kotel na uhlie s retortovým horákom. [22]

Kotel s bubnovým horákom.

Kotel s bubnovým horákom využíva otáčajúci sa bubnový rošt, ktorý odoberá palivo zo zásobníku. Následne sa palivo zapáli, vyhorí a nakoniec popol vypadne do popolníka. Cez stred bubnového roštu je privádzaný spaľovací vzduch. Množstvo spaľovacieho vzduchu a otáčky roštu je možné regulovať podľa potrebného tepelného výkonu. [1]



Obr. 3-13 Kotel s otáčavým bubnovým roštom. [23]

Vďaka automatizácii oba popísané princípy vyžadujú len minimálnu obsluhu spočívajúcu v dopĺňovaní zásobníka a vysýpaní popolníka. Sú drahšie ako kotle s veľkoobjemovým ohniskom ale optimalizujú spaľovací proces a výrazne znižujú produkciu škodlivých látok. Keďže doprava paliva je periodická, kotel s retortovým horákom poskytuje oproti kotlu s otáčavým bubnovým roštom väčší regulačný rozsah výkonov pretože uhlie v retorte ostáva rozpálené. Pri použití kotla s kontinuálnou dopravou je nutné spaľovať drahšie triedené uhlie, takže náklady na vykurovanie budú zas vyššie. [1]

4. EKONOMICKÉ POSÚDENIE VYBRANÝCH VARIANT

V tejto kapitole bakalárskej práce sú porovnané náklady na vykurovanie konkrétneho rodinného domu pri použití jednotlivých typov spaľovacích zariadení. Jedná sa o trojpodlažný, klasický rodinný dom s vykurovacou plochou 600 m^2 , ktorý je vykurovaný kotlom Protherm 30 KLO na zemný plyn. Výkon kotla je $P = 26 \text{ kW}$, elektrický príkon $P_r = 30 \text{ W}$. Dom sa nachádza na území stredného Slovenska približne 10 km od Ružomberka. Nie je zateplený, ale má inštalované plastové okná a dvere. Z fakturačných údajov sa zistilo že na vykúrenie tohto domu je potrebných 3851 m^3 zemného plynu, respektíve 39307 kWh tepla. Ročné náklady na palivo tohto rodinného domu pre päťčlennú rodinu, aj s prípravou úžitkovej vody sú 1954 € . Cena elektrickej energie sa berie z tarify $D_2 = 0,12 \text{ €}$ za 1 kWh .

Prepočet množstva spotrebovaného tepla za jeden rok:

$$Q_1 = 39307 \text{ kWh} = 141505,2 \text{ MJ} \quad (4.1)$$

Kotol nie je počas celého roka v prevádzke za maximálneho výkonu. V letnom období je potrebný výkon oveľa menší. Protherm 30 KLO má dva stupne tepelných výkonov. Prvý stupeň pracuje pri plnom výkone $P_1 = 26 \text{ kW}$ a druhý stupeň pri výkone $P_2 = 18,2 \text{ kW}$. Z tohto dôvodu je pre výpočet prevádzkovej doby kotla potrebné určiť priemerný výkon kotla.

Priemerný výkon kotla:

$$P_p = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{26 + 18,2}{2} = 22,1 \text{ kW} \quad (4.2)$$

Prevádzková doba kotla:

$$T = \frac{Q_1}{P_p * 3600} = \frac{141505,2 * 10^6}{22,1 * 10^3 * 3600} = 1778,6 \text{ h} \quad (4.3)$$

Spotreba elektrickej energie za 1 rok:

$$E = P_r * 10^{-3} * T = 30 * 10^{-3} * 1778,6 = 53,4 \text{ kWh} \quad (4.4)$$

Náklady na elektrickú energiu za obdobie 1 rok:

$$N_{el} = E * 0,12 = 53,4 * 0,12 = 6,4 \text{ €} \quad (4.5)$$

Náklady na vykurovanie:

$$N_k = N_v + N_{el} = 1954 + 6,4 = 1960,4 \text{ €} \quad (4.6)$$

N_k – náklady na vykurovanie

N_v – náklady na palivo

N_{el} – náklady na elektrickú energiu

4.1 Porovnanie nákladov na vykurovanie pri vybraných spaľovacích zariadeniach

Pre zistenie celkových nákladov na vykurovanie pri použití rôznych druhov spaľovacích zariadení sú vybrané kotle, podľa typu paliva ktoré spaľujú. Množstvo spáleného tepla sa berie z uvedeného domu na začiatku kapitoly 4.

Vybrané spaľovacie zariadenia:

- Teplovodná krbová vložka Edilkamin IDRO 100
- Splyňovací kotol ATTACK DP 25
- Kotol na hnedé uhlie EKOKWPns 25
- Kotol na pelety ATMOS D25P

4.1.1 Edilkamin IDRO 100

Teplovodná oceľová krbová vložka s rovným sklom, dvojitými dvierkami. Možnosť napojenia na radiátory, podlahové kúrenia a ohrev úžitkovej vody. Má zabudovanú ochladzovaciu špirálu a termostatický ventil [27].



Špecifikácia krbovej vložky [27]:

- Výkon do vody: 19,4 kW
- Celková účinnosť: $\eta = 80 \%$
- Celková účinnosť do vody: 60 %
- Spotreba dreva: 8 kg/h
- Objem vody: 90 l
- Hmotnosť: 240 kg
- Celkový tepelný výkon: $P = 27,6 \text{ kW}$
- Palivo: kusové drevo (smrek)
- Cena: $N_I = 1609 \text{ €}$

Parametre paliva:

- Výhrevnosť: $Q_i^r = 13,1 \text{ MJ kg}^{-1}$
- Cena paliva: $c_p = 0,11 \text{ €}$

Obr. 4-1 Krbová vložka Edilkamin IDRO 100. [27]

Prevádzková doba vložky:

$$T = \frac{Q_1}{P * 3600} = \frac{141505,2 * 10^6}{27,6 * 10^3 * 3600} = 1424 \text{ h} \quad (4.7)$$

Náklady na elektrickú energiu za obdobie 1 rok:

$$N_{el} = 0 \text{ €} \quad (4.8)$$

Množstvo paliva spotrebovaného za 1 rok:

$$m_p = \frac{Q_1}{Q_i^r * \eta * 10^{-2}} = \frac{141505,2}{13,1 * 80 * 10^{-2}} = 13502,4 \text{ kg} \quad (4.9)$$

Náklady na palivo za obdobie 1 rok:

$$N_v = m_p * c_p = 13502,4 * 0,11 = 1485,26 \text{ €} \quad (4.10)$$

Náklady na vykurovanie:

$$N_k = N_v + N_{el} = 1485,26 + 0 = \mathbf{1485,26 \text{ €}} \quad (4.11)$$

Celkové náklady na zariadenie:

$$N_c = N_k + N_I = 1485,26 + 1609 = \mathbf{3094,26 \text{ €}} \quad (4.12)$$

4.1.2 ATTACK DP 25

Splyňovací kotol ATTACK DP 25 je určený pre ekologické vykurovanie rodinných domov. Predpísaným palivom tohto kotla je suché kusové drevo s vlhkosťou 12 % - 20 %. Pri plnom naložení zásobníka je dĺžka horenia 8 – 12 hodín. [28]



Špecifikácia kotla [28]:

- Celková účinnosť: $\eta = 85,3 \%$
- Spotreba dreva: 7,75 kg/h
- Objem vody: 68 l
- Hmotnosť: 370 kg
- Celkový tepelný výkon: $P_1 = 25 \text{ kW}$
- Minimálny tepelný výkon: $P_2 = 10 \text{ kW}$
- Palivo: kusové drevo (smrek)
- Objem nakladacej komory: 125 dm^3
- Elektrický príkon: $P_r = 38 \text{ W}$
- Cena: $N_I = 997 \text{ €}$

Parametre paliva:

- Výhrevnosť: $Q_i^r = 14 \text{ MJ kg}^{-1}$
- Cena paliva: $c_p = 0,11 \text{ €/kg}$

Obr. 4-2 Splyňovací kotol ATTACK DP 25. [28]

Priemerný výkon kotla:

$$P_p = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{25 + 10}{2} = 17,5 \text{ kW} \quad (4.13)$$

Prevádzková doba kotla:

$$T = \frac{Q_1}{P_p * 3600} = \frac{141505,2 * 10^6}{17,5 * 10^3 * 3600} = 2246,1 \text{ h} \quad (4.14)$$

Spotreba elektrickej energie za 1 rok:

$$E = P_r * 10^{-3} * T = 38 * 10^{-3} * 2246,1 = 85,4 \text{ kWh} \quad (4.15)$$

Náklady na elektrickú energiu za obdobie 1 rok:

$$N_{el} = E * 0,12 = 85,4 * 0,12 = 10,24 \text{ €} \quad (4.16)$$

Množstvo paliva spotrebovaného za 1 rok:

$$m_p = \frac{Q_1}{Q_i^r * \eta * 10^{-2}} = \frac{141505,2}{14 * 85,3 * 10^{-2}} = 11849,4 \text{ kg} \quad (4.17)$$

Náklady na palivo za obdobie 1 rok:

$$N_v = m_p * c_p = 11849,4 * 0,11 = 1303,4 \text{ €} \quad (4.18)$$

Náklady na vykurovanie:

$$N_k = N_v + N_{el} = 1303,4 + 10,24 = \mathbf{1313,64 \text{ €}} \quad (4.19)$$

Celkové náklady na zariadenie:

$$N_c = N_k + N_I = 1313,64 + 997 = \mathbf{2310,64 \text{ €}} \quad (4.20)$$

4.1.3 EKO-KWPns 25

Jedná sa o automatický kotol na uhlie s frakciou 5-21 mm. Zásobník zaisťuje prísun paliva vo vykurovacej sezóne na 5-7 dní. Kotol sa na začiatku sezóny zapáli a práca užívateľa spočíva v prisýpaní paliva a vyprázdňovaní popolníka [24].



Špecifikácia kotla [24]:

- Celková účinnosť: $\eta = 86,3 \%$
- Kapacita zásobníka: 155/120 l/kg
- Objem tepelného výmenníku: 108 l
- Hmotnosť: 410 kg
- Celkový tepelný výkon: $P_1 = 24 \text{ kW}$
- Minimálny tepelný výkon: $P_1 = 7 \text{ kW}$
- Palivo: hnedé uhlie (orech 2)
- Elektrický príkon: $P_r = 170 \text{ W}$
- Cena kotla: $N_I = 2180 \text{ €}$

Parametre paliva:

- Výhrevnosť: $Q_i^r = 17,6 \text{ MJkg}^{-1}$
- Cena paliva: $c_p = 0,13 \text{ €/kg}$

Obr. 4-3 Kotol na uhlie EKO-KWPns 25 [24]

Priemerný výkon kotla:

$$P_p = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{24 + 7}{2} = 15,5 \text{ kW} \quad (4.21)$$

Prevádzková doba kotla:

$$T = \frac{Q_1}{P * 3600} = \frac{141505,2 * 10^6}{15,5 * 10^3 * 3600} = 2535,9 \text{ h} \quad (4.22)$$

Spotreba elektrickej energie za 1 rok:

$$E = P_r * 10^{-3} * T = 170 * 10^{-3} * 2535,9 = 431,1 \text{ kWh} \quad (4.23)$$

Náklady na elektrickú energiu za obdobie 1 rok:

$$N_{el} = E * 0,12 = 431,1 * 0,12 = 51 \text{ €} \quad (4.24)$$

Množstvo paliva spotrebovaného za 1 rok:

$$m_p = \frac{Q_1}{Q_i^r * \eta * 10^{-2}} = \frac{141505,2}{17,6 * 86,3 * 10^{-2}} = 9316,5 \text{ kg} \quad (4.25)$$

Náklady na palivo za obdobie 1 rok:

$$N_v = m_p * c_p = 9316,5 * 0,13 = 1211,1 \text{ €} \quad (4.26)$$

Náklady na vykurovanie:

$$N_k = N_v + N_{el} = 1211,1 + 51 = \mathbf{1262,1 \text{ €}} \quad (4.27)$$

Celkové náklady na zariadenie:

$$N_c = N_k + N_I = 1262,1 + 2180 = \mathbf{3442,1 \text{ €}} \quad (4.28)$$

4.1.4 ATMOS D25P

ATMOS D25P je plne automatický kotol na pelety. Je konštruovaný pre dokonalé spaľovanie peliet tak, že z oboch strán kotla (podľa potreby zákazníka) je umiestnený horák na spaľovanie peliet. Pelety sú dopravované pomocou šnekového dopravníka ktorý ich odoberá zo zásobníka. Kotol je možné vybaviť systémom ktorý zabezpečí vyberanie popola. [29]



Obr. 4-4 Kotel na pelety ATMOS D25P [28]

Špecifikácia kotla [29]:

- Celková účinnosť: $\eta = 90,2 \%$
- Spotreba dreva: 5,4 kg/h
- Objem vody: 62 l
- Hmotnosť: 254 kg
- Celkový tepelný výkon: $P_1 = 24 \text{ kW}$
- Minimálny tepelný výkon: $P_2 = 7 \text{ kW}$
- Palivo: drevné pelety (priemer 6-8 mm)
- Objem spaľovacej komory: 88 dm^3
- Elektrický príkon: $P_r = 42 \text{ W}$
- Cena kotla: $N_I = 1075 \text{ €}$
- Cena horáku (ATMOS A25): $N_{II} = 725 \text{ €}$
- Šnekový dopravník (DA 2500): $N_{III} = 445 \text{ €}$

Parametre paliva:

- Výhrevnosť: $Q_i^r = 18,1 \text{ MJkg}^{-1}$
- Cena paliva: $c_p = 0,24 \text{ €/kg}$

Priemerný výkon kotla:

$$P_p = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{24 + 7}{2} = 15,5 \text{ kW} \quad (4.29)$$

Prevádzková doba kotla:

$$T = \frac{Q_1}{P_p * 3600} = \frac{141505,2 * 10^6}{15,5 * 10^3 * 3600} = 2535,9 \text{ h} \quad (4.30)$$

Spotreba elektrickej energie za 1 rok:

$$E = P_r * 10^{-3} * T = 42 * 10^{-3} * 2535,9 = 106,5 \text{ kWh} \quad (4.31)$$

Náklady na elektrickú energiu za obdobie 1 rok:

$$N_{el} = E * 0,12 = 106,5 * 0,12 = 12,78 \text{ €} \quad (4.32)$$

Množstvo paliva spotrebovaného za 1 rok:

$$m_p = \frac{Q_1}{Q_i^r * \eta * 10^{-2}} = \frac{141505,2}{18,1 * 90,2 * 10^{-2}} = 8667,36 \text{ kg} \quad (4.33)$$

Náklady na palivo za obdobie 1 rok:

$$N_v = m_p * c_p = 8667,36 * 0,24 = 2080 \text{ €} \quad (4.34)$$

Náklady na vykurovanie:

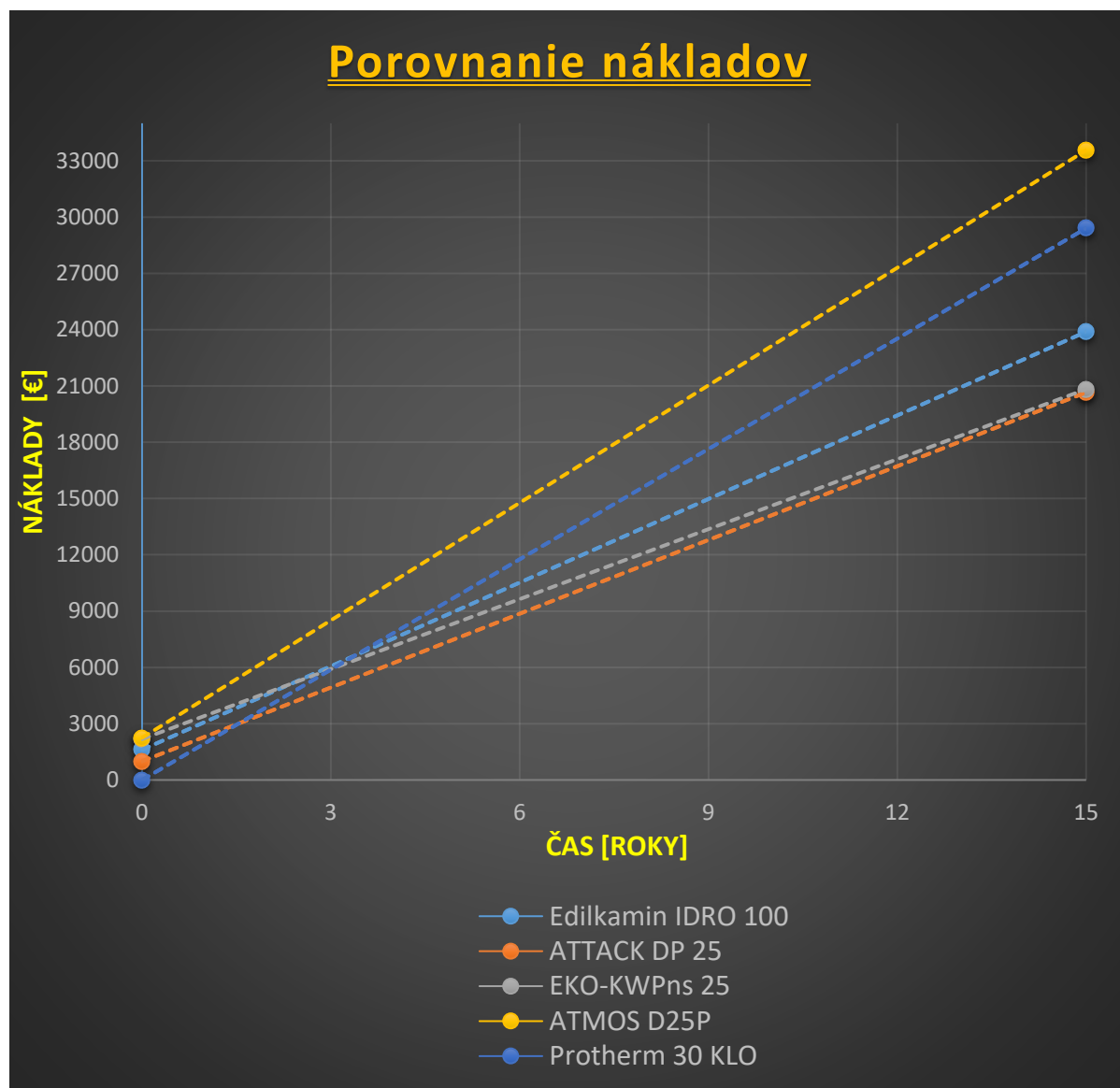
$$N_k = N_v + N_{el} = 2080 + 12,78 = 2092,8 \text{ €} \quad (4.35)$$

Celkové náklady na zariadenie:

$$N_c = N_k + N_I + N_{II} + N_{III} = 2092,8 + 1075 + 725 + 445 = 4337,8 \text{ €} \quad (4.36)$$

4.2 Grafické znázornenie výsledkov

Graf zobrazuje celkové náklady na zariadenie a náklady na ročnú prevádzku kotlov po dobu 15 rokov.



Obr. 4-5 Grafické znázornenie výsledkov.

Z grafu je zrejmé že použitý plynový kotol Protherm 30 KLO nie je najvýhodnejšou možnosťou vykurovania vybraného rodinného domu. V prípade posudzovania vybraných typov zariadení z ekonomického hľadiska, je najlacnejšou voľbou splynovací kotol na drevo ATTACK DP 25. Tento kotol v porovnaní s ostatnými vybranými kotlami má najmenšie počiatkové náklady na zriadenie a taktiež najnižšie náklady na vykurovanie vybraného rodinného domu za obdobie 15 rokov. Ako druhá najvýhodnejšia voľba je automatický kotol na uhlie EKO-KWPns 25. Náklady na zariadenie tohto kotla sú druhé najvyššie ale vďaka

vysokej výhrevnosti paliva a účinnosti kotla sú celkové náklady na vykurovanie len o trochu vyššie ako pri splyňovacom kotle na drevo. Na tretej pozícii z ekonomického hľadiska je krbová vložka Edilkamin IDRO 100. Kotel Protherm 30 KLO sa umiestnil až na štvrtom mieste. Posledná a najdrahšia varianta je automatický kotel na pelety ATMOS D25P, ktorého celkové náklady na zariadenie a zároveň aj celkové náklady na vykurovanie sú oveľa vyššie ako pri ostatných porovnaných spaľovacích zariadeniach.

Ak sa kotle porovnajú z hľadiska poskytovania komfortu a nákladov pri vykurovaní, je najlepšou voľbou z pomedzi vybraných zariadení automatický kotel na uhlie EKO-KWPns 25. Jeho celkové náklady na vykurovanie sú v porovnaní so splyňovacím kotlom na drevo ATTACK DP 25 len o cca 200 € vyššie, za obdobie 15 rokov. Počiatočné náklady na zariadenie sú vyššie o 1 132 €, ale poskytuje užívateľovi celoročný komfort z hľadiska obsluhy, manuálnej práce pri príprave paliva a v skladovaní paliva. Krbová vložka, taktiež ako splyňovací kotel na drevo, vyžaduje častú obsluhu pri prikladaní paliva a veľký skladovací priestor na palivo. Náklady pri vykurovaní pri krbovej vložke sú zreteľne vyššie ako pri predchádzajúcich kotloch. Automatický kotel na pelety rovnako ako kotel na uhlie poskytuje užívateľovi plný komfort pri vykurovaní. Jeho náklady sú však oveľa vyššie preto je výhodnejšou voľbou automatický kotel na uhlie.

5. ZÁVER

Prvá časť bakalárskej práce sa venuje prehľadu tuhých palív vhodných pre vykurovanie rodinných domov. Je rozobratý hrubý rozbor tuhých palív a ich vlastností (spalné teplo a výhrevnosť paliva). Nakoniec sú popísané jednotlivé druhy palív, ich vhodné úpravy pre kotle, výhody a nevýhody palív a cenové zaradenie. Pre vhodný výber paliva je potrebné poznať jeho zloženie a charakteristické vlastnosti. Voda, spolu s popolovinou, sú v palive nežiadúcimi zložkami, pretože znižujú energetickú hodnotu paliva. Horľavina je aktívnou zložkou v palive. Čím je obsah horľaviny vyšší, tým vyššia je výhrevnosť paliva. Aby sme dosiahli čo najvhodnejšie vlastnosti, je potrebné palivo pred použitím dostatočne vysušiť a tým sa zvýši obsah horľaviny a jeho energetická hodnota. Samozrejme najvýhodnejšou voľbou je palivo s čo najvyššou výhrevnosťou a prijateľnou cenou ako napríklad uhlie, ale to nie je vhodné z ekologického hľadiska, pretože sa z neho dostávajú do ovzdušia škodlivé látky. Vhodný výber paliva je preto pri každom užívateľovi individuálny. Uhlie patrí medzi fosílné palivá. Zásoba fosílnych palív však každým rokom neprestajne klesá a čoraz viac sa začínajú využívať obnoviteľné zdroje energie ako biomasa. Biomasa sa spracováva do rôznych podôb ako brikety, pelety a tak ponúka vysoký komfort pri manipulácii a skladovaní paliva.

V druhej časti bakalárskej práce je zhrnutý prehľad technológií vykurovania rodinných domov tuhými palivami. Sú popísané princípy činnosti lokálnych tepelných zariadení ako krby a kachle, ktoré uvoľňujú teplo do miestnosti formou sálania. Vykurovanie jednotlivých miestností touto formou je veľmi efektívne a účinné, ale nevýhodou je častá obsluha a manipulácia s palivom s čím súvisí aj znečisťovanie priestorov. Lokálne zariadenia sa preto používajú len ako doplnkové vykurovanie, alebo ako vykurovanie chatiek a chalúp. Pre vykurovanie rodinných domov sú vhodnejšou voľbou centrálné spaľovacie zariadenia, ktoré odovzdávajú teplo uvoľnené pri spálení teplotnosnému médiu (voda). Tieto zariadenia môžu byť s ručnou obsluhou alebo automatické, ktoré poskytujú užívateľovi vysoký komfort pri obsluhu. Ten je však zohľadnený v cene. Z popísaných zariadení boli podľa druhu paliva ktoré spaľujú vybraté 4 kotle, na porovnanie nákladov pre vykurovanie rodinného domu: teplovodná krbová vložka, splyňovací kotol na drevo, kotol na hnedé uhlie a kotol na pelety.

V záverečnej časti je ekonomické posúdenie vybraných typov spaľovacích zariadení pre vykurovanie rodinného domu. Bol vybraný modelový dom, ktorý je vykurovaný plynovým kotlom Protherm 30 KLO a z fakturačných údajov bolo zistené teplo potrebné na vykúrenie tohto domu. Následne boli predvedené výpočty pri použití vybraných kotlov pre rôzne druhy paliva. Výsledky sú zobrazené v grafe ktorý zachytáva celkové náklady na zriadenie kotlov a náklady na prevádzku kotlov po dobu 15 rokov. Pri výsledkoch treba brať do úvahy že sú teoretické pretože sa počítalo že cena paliva ostane po dobu 15 rokov stála. Taktiež sa nezapočítali náklady na údržbu a prípadné opravy kotlov. Z ekonomického hľadiska je najvýhodnejšou voľbou splyňovací kotol na drevo u ktorého sú náklady na zriadenie a prevádzku najnižšie. Druhá najvýhodnejšia možnosť je automatický kotol na uhlie. Ďalej teplovodná krbová vložka, plynový kotol a nakoniec automatický kotol na pelety. V dnešnej dobe sa však ľudia zameriavajú aj na komfort a v tom prípade splyňovací kotol na drevo nie je ideálnou voľbou. Vyžaduje častú obsluhu, manipuláciu s palivom a taktiež veľké skladovacie priestory pre palivo. Z hľadiska komfortu a ceny je preto najvýhodnejšou možnosťou automatický kotol na uhlie, za ním nasleduje plynový kotol a automatický kotol na pelety. Ako už vieme, uhlie nie je z ekologického hľadiska najlepšou voľbou. Preto záleží na užívateľovi,

či pri výbere technológie vykurovania domu berie ohľad len na cenu a komfort, alebo aj životné prostredie.

Samozrejme takýto výber typu kotla a druhu paliva závisí aj od oblasti v ktorej sa nachádzate a aké podmienky pre získanie paliva s čo najvýhodnejšou cenou máte k dispozícii. Z môjho hľadiska je výhodná voľba splyňovací kotol na drevo pretože náš dom sa nachádza v oblasti Nízke Tatry a drevo sa dá kúpiť za relatívne nízku cenu. Náklady na zriadenie a prevádzku tohto kotla sú taktiež najnižšie. Jediným problémom teda ostáva častá obsluha. Ale tá je zohľadnená v nízkej cene za vykurovanie domu.

6. ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] NOSKIEVIČ, Pavel. *Malé zdroje znečišťování*. 1. Ostrava: VEC Ostrava, 2004.
- [2] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vydání druhé. Brno: Akademické nakladatelství CERM®, s.r.o. Brno, 2013, 119 stran : ilustrace. ISBN 9788021447707.
- [3] JANDAČKA, Jozef. *Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy*. 1. Žilina: 1. Žilina, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.
- [4] *Vytapeni* [online]. b.r. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [5] QUASCHNING, Volker a Václav BARTOŠ. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. : il., mapy. ISBN 9788024732503.
- [6] *123RF* [online]. b.r. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: https://www.123rf.com/photo_12410752_wood-logs-background.html
- [7] *Intherma* [online]. b.r. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.intherma.sk/sk/Vyberame-zdroj-tepla>
- [8] *Haardenexpert.nl* [online]. b.r. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <https://www.haardenexpert.nl/kenniscentrum/tips-om-hout-goed-te-stoken.html>
- [9] *Pelletheat* [online]. b.r. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.pelletheat.sk/portfolio/drevene-brikety-tehlove/>
- [10] MALAŤÁK, Jan. *Biomasa pro výrobu energie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.
- [11] *Elearn.punjab* [online]. b.r. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: http://dev.elearn.punjab.gov.pk/home/read_book/14/63
- [12] *Kureníe* [online]. b.r. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.kureníe.eu/>
- [13] *Energy centre Bratislava* [online]. b.r. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.ecb2.sk/>
- [14] SPP. *SPP* [online]. b.r. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.spp.sk/sk/>
- [15] *Siea* [online]. b.r. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://www.siea.sk/letaky/c-260/ako-vybrat-kotol-na-biomasu/>
- [16] *Divko* [online]. b.r. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.divko.sk/paliva/palivo.php>

- [17] *Krove-kachle-krby* [online]. b.r. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://wwwb.krove-kachle-krby.sk>
- [18] *Krby-kamna* [online]. b.r. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.krby-kamna-eshop.cz>
- [19] *Krbari-kamnari* [online]. b.r. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.krbari-kamnari.cz>
- [20] *Greenczech* [online]. b.r. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://greenczech.webnode.cz/produkty/solarni-ohrev-tuv/>
- [21] *Blazeharmony* [online]. b.r. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.blazeharmony.com/sk/www/splynovaci-kotol>
- [22] *Kurenipeletami* [online]. b.r. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.kurenipeletami.sk/category/caste-otazky/vykon-kotla/>
- [23] *Botoenviro* [online]. b.r. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.botoenviro.sk/products/minima-touch/>
- [24] *Ekohrasok* [online]. b.r. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <https://ekohrasok.wordpress.com/kotly/>
- [25] *Ekokomfort* [online]. b.r. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.ekokomfort.sk/eko-komfort-1/eko-komfort>
- [26] *Aqua-art* [online]. b.r. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.aqua-art.sk/kotle-na-hnede-uhlie/>
- [27] *Ondrusek* [online]. b.r. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <https://www.ondrusek.sk/sk/krbove-vlozky-na-drevo/edilkamin/teplovodne/idro-100>
- [28] *Attack* [online]. b.r. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.attack.sk/attack-dp-25-standard/>
- [29] *ATMOS* [online]. b.r. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.atmos.eu/kotle-na-pelety/>

7. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, OBRÁZKOV A TABULIEK

7.1 Zoznam použitých skratiek a symbolov

| Skratka | Popis | Jednotka |
|----------|---|------------|
| Q_i^r | Výhrevnosť paliva | [kJ/kg] |
| Q_s | Spalné teplo | [kJ/kg] |
| W^r | Relatívna vlhkosť | [%] |
| m_d | Hmotnosť suchého vzorku | [g] |
| m_p | Hmotnosť popola v palive | [g] |
| A | Obsah popola v palive | [-] |
| G | Hmotnosť paliva | [kg] |
| V | Vodná hodnota kalorimetra | [kJ/kg] |
| r | Kondenzačné teplo vody | [kJ/kg] |
| Q_1 | Teplo spotrebované na vykurovanie domu za 1 rok | [kWh]=[MJ] |
| P_p | Priemerný výkon | [kW] |
| T | Prevádzková doba kotla | [h] |
| E | Ročná spotreba elektrickej energie kotla | [kWh] |
| N_{el} | Ročné náklady na elektrickú energiu | [€] |
| N_k | Ročné náklady na vykurovanie | [€] |
| N_v | Ročné náklady na palivo | [€] |
| η | Účinnosť kotla | [%] |
| P | Výkon kotla | [kW] |
| c_p | Cena paliva | [€] |
| N_c | Celkové náklady na zriadenie | [€] |
| P_r | Elektrický príkon kotla | [W] |
| m_1 | Hmotnosť vzorku pred vysušením | [kg] |
| m_2 | Hmotnosť vzorku po vysušení | [kg] |

7.2 Zoznam tabuliek

| | |
|--|----|
| Tab. 2-1 Zloženie tuhých palív pred a po vysušení. [1]..... | 17 |
| Tab. 2-2 Výhrevnosť a objemová hmotnosť dreva pri vlhkosti 25%. [4]..... | 22 |
| Tab. 2-3 Výhrevnosť a chemické zloženie biomasy. [3] | 24 |
| Tab. 2-4 Výhrevnosť a energetický obsah odpadových palív. [13] | 25 |
| Tab. 2-5 Porovnanie výhod a nevýhod jednotlivých druhov palív. [1] | 25 |
| Tab. 2-6 Charakteristika jednotlivých druhov palív. | 26 |
| Tab. 3-1 Hodnoty výkonov kotlov na pelety pre rozlohy domov. [20] | 34 |

7.3 Zoznam obrázkov

| | |
|--|----|
| Obr. 2-1 Hrubý rozbor tuhých palív. [2]..... | 17 |
| Obr. 2-2 Závislosť výhrevnosti paliva na vlhkosti. [4]..... | 19 |
| Obr. 2-3. Zľava: guľatina, drevené pelety, drevené brikety, štiepka. [6] [7] [8] [9] ... | 20 |
| Obr. 2-4 Znižovanie vlhkosti v priebehu vysušovania dreva. [4]..... | 21 |
| Obr. 2-5 Tvorba uhlia v rôznych fázach s nárastom tlaku. [10] | 22 |
| Obr. 2-6 Porovnanie výhrevností a prvkového zloženia horľaviny palív. [4] | 23 |
| Obr. 2-7 Náklady na palivo a energiu. [13] | 26 |
| Obr. 3-1 Ohnisko s prehorevaním paliva (A) a odhorievaním paliva (B) [1] | 28 |
| Obr. 3-2 Konštrukcia keramických kachiel. [1] | 29 |
| Obr. 3-3 Thorma Kerpen II -klasické kachle. [15] | 29 |
| Obr. 3-4 Krby: vľavo uzavretý a vpravo otvorený krb. | 30 |
| Obr. 3-5 Teplovodná krbová vložka. [16] | 31 |
| Obr. 3-6 Krb s teplovzdušnou krbovou vložkou. [17]..... | 32 |
| Obr. 3-7 Schéma zapojenia kotla. [18] | 33 |
| Obr. 3-8 Rez splyňovacím kotlom. [20] | 34 |
| Obr. 3-9 Rez kotlom na pelety. [20] | 35 |
| Obr. 3-10 Systém vykurovania peletami. [4]..... | 35 |
| Obr. 3-11 Retortový horák. [21] | 36 |
| Obr. 3-12 Kotol na uhlie s retortovým horákom. [22]..... | 37 |
| Obr. 3-13 Kotol s otáčavým bubnovým roštom. [23]..... | 37 |
| Obr. 4-1 Krbová vložka Edilkamin IDRO 100. [24] | 40 |
| Obr. 4-2 Splyňovací kotol ATTACK DP 25. [25]..... | 41 |
| Obr. 4-3 Kotol na uhlie EKO-KWPns 25 [27] | 42 |
| Obr. 4-4 Kotol na pelety ATMOS D25P [28] | 44 |
| Obr. 4-5 Grafické znázornenie výsledkov. | 45 |